



TESIS ME -141501

Uji Hidrodinamika dan Kajian Numerik Pengembangan  
*Symmetrical Blade* Propeller Untuk Kapal Patroli 60m  
Dengan Menggunakan Teori *Lifting Line*

Mahendra Indriyanto

NRP. 4115 204 002

Dosen Pembimbing :

DR.Eng I Made Ariana, ST.MT

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



THESIS ME-141501

**UJI HIDRODINAMIKA DAN KAJIAN NUMERIK  
PENGEMBANGAN *SYMMETRICAL BLADE* PROPELLER UNTUK  
KAPAL PATROLI 60 M DENGAN MENGGUNAKAN TEORI  
LIFTING LINE**

Mahendra Indriyanto  
NRP. 4115 204 002

DOSEN PEMBIMBING  
Dr.Eng I Made Ariana, ST.MT

PROGRAM MAGISTER  
JURUSAN TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017

# LEMBAR PENGESAHAN

## TESIS

**Judul Tesis** : Uji Hidrodinamika Dan Kajian Numerik Pengembangan *Symmetrical Blade Propeller* Untuk Kapal Patroli 60m Dengan Menggunakan Teori *Lifting Line*

**Oleh** : Mahendra Indriaryanto

**NRP** : 4115 204 002

**Telah Diujikan pada:**

**Hari/Tanggal** : Selasa/25 Juli 2017

**Periode Wisuda** : September 2017

**Untuk Mendapat Gelar Magister Teknik (MT) Pada Program Pasca Sarjana**

**Teknologi Kelautan-Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

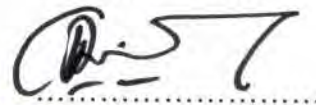
### Dosen Pembimbing

1. Dr.Eng. I Made Ariana, ST. MT  
NIP: 1971 0610 1995 12 1001



### Dosen Penguji

1. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng. Ph.D  
NIP: 1956 0519 1986 10 1001
2. Dr. Eddy Setyo K, ST.M.Sc  
NIP: 1968 0701 1995 12 1001
3. Dr.Eng. I Made Ariana, ST. MT  
NIP: 1971 0610 1995 12 1001



**Dekan Fakultas Teknik Kelautan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**



**Prof. Ir. Daniel M Rosyid.Ph.D**  
NIP.1961 0702 1988 03 1003

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdulillah hirobbillallamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt yang telah memberikan taufik dan hidayahNya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Uji Hidrodinamika dan Kajian Numerik Pengembangan Symmetrical Blade Propeller Untuk Kapal Patroli 60m dengan Teori Lifting Line”. Tesis ini merupakan tugas akhir masa studi dan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Program Pascasarjana Teknologi Kelautan ITS Surabaya.

Dalam proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dorongan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang setinggi – tingginya kepada :

- Keluarga tercinta istriku Mascik Fauzi, S.KM, Anakku Azzahra Mahendra atas kesabarannya selama ini.
- Dosen Pembimbing Bapak DR. Eng I Made Ariana ST, MT. Yang telah bersedia membimbing penyusunan tesis ini dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk konsultasi tesis, berdiskusi, memberi motivasi, koreksi, arahan, pencerahan, serta kepercayaan kepada penulis.
- Bapak Dr. Trika Pitana ST.,M.Sc, sebagai dosen wali yang telah dengan sabar dan kebesaran hati membimbing kami sampai purna.
- Kepala Balai Teknologi Hidrodinamika beserta Para Kasie yang ikut membantu dalam penyelesaian Thesis ini.
- Bapak Professor Semin Sanuri ST.MT.PhD., Bapak Dr.Eng Trika Pitana, ST., M.Sc, Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah M.Eng.PhD, Bapak Dr. Ir A.A. Masroeri, M.Eng, Bapak Dr.Eng. I Made Ariana, ST., MT., Bapak Sutopo Purwono Fitri ST.,M.Eng.,PhD, Bapak Ir. Sardono Sarwito. M.Sc, beserta segenap dosen pengajar PPsTK. Terimakasih untuk kesempatannya berbagi ilmu, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan mendapat balasan dari Allah dengan kebaikan setimpal.
- Teman-teman Balai Teknologi Hidrodinamika yang membantu dalam proses pengujian propeller model.
- Semua pihak yang berjasa membantu dalam menyelesaikan proses belajar kami yang tidak bisa saya sebutkan satu – persatu, terimakasih atas bantuannya selama ini.

Semoga beliau – beliau yang saya sebutkan tadi, kebbaikannya kepada kami dibalas oleh Allah Swt dengan yang lebih baik dari segala bantuan, bimbingan, dukungan, serta doa yang telah diberikan kepada kami selama mengikuti proses belajar di ITS selama ini. Aminn aminn ya robballaallamin.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

# **UJI HIDRODINAMIKA DAN KAJIAN NUMERIK PENGEMBANGAN *SYMMETRICAL BLADE* PROPELLER UNTUK KAPAL PATROLI 60 M DENGAN MENGGUNAKAN TEORI LIFTING LINE**

Nama Mahasiswa : Mahendra Indriyanto  
NRP : 4115 204 002  
Pembimbing : DR.Eng I Made Ariana, ST.MT

## **ABSTRAK**

Berdasarkan letak geografis wilayah Indonesia sebagian besar terdiri dari lautan dan hanya 1/3 berupa daratan. Berdasarkan alasan tersebut system ketahanan laut sangat penting untuk menjaga kedaulatan NKRI. Guna mencapai tujuan tersebut, kemandirian teknologi baru peralatan utama system persenjataan atau alutsista perlu dikembangkan. Salah satunya pengembangan system propulsi yang mampu bekerja secara efisien (aspek hidrodinamika) pada kapal - kapal patroli penjaga perairan Indonesia. Maka, dalam penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu desain sistem propulsi yang cocok dengan kapal patroli tipe 60m. sehingga bisa di standartkan ukuran utama kapal dengan system penggeraknya. Penelitian ini di laksanakan melalui beberapa tahapan, di antaranya mendesain sistem propulsinya dengan di hitung secara perhitungan numerik dengan *MaTLAB* yang akan di gunakan sebagai analisa awal performance dari desain yang telah di tentukan. Setelah itu dilaksanakan penedakatan experimental dengan uji open water propeller di laboratorium BTH. Sehingga dari hasil uji tersebut di ketrahui secara pasti bahwa, hasil desain propeller symmetrical balde mampu mendorong kapal patrol 60m pada sarat dan kecepatan yang telah di tentukan.

*Kata Kunci : kapal patroli, propeller, numerik, experimental*

# **HYDRODYNAMICS TEST AND NUMERICAL STUDY SYMMETRICAL BLADE PROPELLER DEVELOPMENT FOR PATROL BOAT 60M USING LIFTING LINE THEORY**

By : Mahendra Indriyanto  
Student Identity Number : 4115 204 002  
Supervisor : Dr.Eng. I Made Ariana, ST,MT

## **ABSTRACT**

Based on the geographical location of the Indonesian territory consists mostly of oceans and only 1/3 of land. Based on these reasons the system of marine resilience is very important to maintain the sovereignty of NKRI. In order to achieve these objectives, the new technology independence of the main armament or weapon system equipment needs to be developed. One of them is the development of a propulsion system capable of working efficiently (hydrodynamic aspect) on patrol boats of Indonesian waters guard. So, in this study aims to produce a propulsion system design that fits with the type 60m patrol boat. So that it can be standardized the main size of the ship with its propulsion system. This research is carried out through several stages, including designing the propulsion system by calculating numerical calculations with MaTLAB which will be used as an initial analysis of the performance of the design that has been determined. After that experimental approach was carried out with open water propeller test in BTH laboratory. So from the test results are known for sure that, the design of symmetrical blade propeller is able to push the fast patrol boat 60m on draught and the speed that has been determined

*Keywords: patrol boat, propeller, numeric, experimental*

## DAFTAR ISI

LembarPengesahan	i
Kata Pengantar	ii
Abstrak	iv
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	xi
 <b>BAB 1 Pendahuluan</b>	
Belakang	1
PerumusanMasalah	2
BatasanMasalah	2
TujuandanManfaatPenelitian	3
Hipotesis	3
 <b>BAB 2 Kajian Pustaka dan Dasar Teori</b>	
2.1 KajianTerkaitPenelitian	4
2.2 Lifting line Propeller dan Teori propeller	4
2.3 Pengujian Open Water Propeller Kapal Patroli 60m	8
2.3.1 Persiapan	9
2.3.2 Prosedure Pengujian	11
2.3.3 Data Akuisisi dan analisa	11
2.4 Sistem Pengukuran Open water	12
 <b>BAB 3 MetodologiPenelitian</b>	
3.1 StudiLiteratur	13
3.2 Pengumpulan Data Sekunder	15
3.3 Perhitungan dan analisa Desain Propeller Kapal Patroli 60m	15
3.4 Pembuatan Model propeller	15
3.5 Persiapan dan Pengujian Open Water di Towink Tank	16
3.6 Perhitungan dan analisa data	18
3.7 Pelaporan dan Publikasi	19



3.8 Jadwal Kegiatan	19
<b>BAB 4 Metodologi Penelitian</b>	
4.1 Data Utama	21
4.2 Analisa Perhitungan Numerik	24
4.3 Pembuatan Model Propeller	39
4.4 Pengujian Open Water Propeller model	39
4.5 Analisa Hasil Pengujian	42
4.6 Analisa Kavitasi Propeller	48
<b>BAB 5 Kesimpulan dan Saran</b>	
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
<b>Daftar Pustaka</b>	54
<b>Lampiran-Lampiran</b>	55

## DAFTAR GAMBAR

2.1- Gambar Teori lifting line	5
2.2- Gambar contoh diagram KT, KQ, J	7
2.3- Gambar ilustrasi Towing Tank LHI	8
2.4- Gambar geometri dari fairing model propeller	10
2.5- Gambar Set-Up pengujian open water	11
2.6- Gambar pengambilan data secara realtime	13
3.1- Gambar diagram alir metode penelitian	15
3.2- Gambar contoh propeller 2D	16
3.3- Gambar flowchart pengujian open water	18
4.1- Gambar rencana garis kapal	22
4.2- Gambar engine envelope MTU 3900 KW	24
4.3- Gambar data hasil running program Matlab	25
4.4- Gambar open water symmetrical blade 5 daun	26
4.5- Gambar plot KT desain pada 28 knot propeller symmetrical blade 5 daun	27
4.6- Gambar engine matching propeller symmetrical blade 5 daun	28
4.7- Gambar data hasil running Matlab	29
4.8- Gambar open water symmetrical blade 4 daun	30
4.9- Gambar plot KT desain pada 28 knot propeller symmetrical blade 4 daun	31
4.10- Gambar engine matching propeller symmetrical blade 4 daun	32
4.11- Gambar open water diagram B-series	33
4.12- Gambar plot KT desain propeller B-series pada 28 knot	33
4.13- Gambar unskewed propeller B-series	36
4.14- Gambar penentuan BAR dan pitch propeller	37
4.15- Gambar kerja propeller 2D	38
4.16- Gambar 3D propeller symmetrical blade	38
4.17- Gambar grafik diagram open water propeller hasil pengujian	42
4.18- Gambar plot KT desain pada 28 knot propeller uji (sarat 2.57m)	43
4.19- Gambar engine matching propeller uji (sarat 2.57m)	44
4.20- Gambar plot KT desain sarat 2.4m pada 28 knot	46
4.21- Gambar engine matching propeller uji (sarat 2.4m)	47
4.22- Gambar burrill diagram pada cavitation number 5%	50

## DAFTAR TABEL

2.1- Tabel beberapa penelitian desain propeller	4
3.1- Tabel contoh pengujian open water test	19
4.1- Tabel ukuran utama kapal	21
4.2- Tabel data perhitungan wake fraction dan thrust deduction factor	23
4.3- Tabel extrapolasi uji tahanan kapal patroli 60m pada sarat 2.57m	24
4.4- Tabel hasil perhitungan KT desain sarat 2.57m	27
4.5- Tabel hasil engine matching propeller symmetrical blade 5 daun	28
4.6- Tabel hasil perhitungan KT desain	30
4.7- Tabel hasil engine matching propeller symmetrical blade 4 daun	31
4.8- Tabel hasil engine matching propeller B-series	34
4.9- Tabel perbandingan variasi propeller berdasarkan perhitungan numerik	35
4.10- Tabel hasil uji model propeller di towing tank BTH	41
4.11- Tabel hasil KT, KQ, J pengujian	41
4.12- Tabel hasil engine matching propeller uji (sarat 2.57m)	43
4.13- Tabel data tahanan kapal patroli pada sarat 2.4m	45
4.14- Tabel hasil perhitungan KT desain sarat 2.4m	45
4.15- Tabel hasil engine matching propeller uji (sarat 2.4m)	46
4.16- Tabel burrill diagram	49

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Seiring dengan implementasi Undang – Undang 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan, pembangunan kapal patroli cepat akan menandai penguasaan teknologi termodern oleh putra putri bangsa. Pembangunan kapal patroli cepat maupun kapal perang dapat di katakan sebagai wujud kebangkitan program kemandirian bangsa dalam mempertahankan dan mengamankan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Inovasi propulsi pada kapal patroli cepat maupun kapal perang merupakan salah satu pengembangan dengan sarat muatan teknologi tinggi,. Penelitian dan pengujian model kapal pada lambung kapal cepat 60 meter telah dilaksanakan sejak tahun 2015. UPT-BTH bekerjasama dengan Galangan kapal serta dukungan dari TNI AL mulai melakukan pengembangan kapal cepat 60 meter dan menguji modelnya di tangki uji tarik di laboratorium BPPH.



Foto 1.1. Uji Tahanan Model Kapal Cepat 60m

Sebelum melakukan pengujian model terlebih dahulu di lakukan perhitungan numerik dengan menggunakan program *MaTLAB* maupun menggunakan *MARIN* software yang ada di UPT. BTH. Hal tersebut perlu di lakukan untuk mengetahui gambaran awal pengujian tahanan kapal. Ada beberapa manfaat yang di dapat dalam melakukan perhitungan numerik sebelum dilakukan pengujian yang pertama adalah dapat mengetahui gambaran awal tahanan kapal dalam satuan newton sehingga kita dapat memperkirakan load cell mana yang akan di pasang untuk pengukuran tahanan saat uji

model. Yang kedua adalah untuk mengetahui tren grafik pengujian tahanan yang di gunakan sebagai pembandingan saat pengujian. Terkadang saat pengujian muncul permasalahan instrumentasi terutama pada record data maupun getaran pada carriage yang menimbulkan noise pada data akuisisi.

## **1.2 Perumusan Masalah**

1. Bagaimana merancang propeller *symmetrical blade* untuk kapal patroli 60m
2. Bagaimana membuat propeller *symmetrical blade* untuk kapal patroli 60m
3. Bagaimana mengetahui karakteristik propeller *symmetrical blade* kapal patroli 60m dengan metode numerik dan experiment

## **1.3 Batasan Masalah**

Dari perumusan masalah yang telah dibuat maka perlu dibuat suatu batasan masalah dalam melakukan penelitian, sehingga dalam penelitian ini akan dibatasi beberapa aspek antara lain :

- ☐ Berdasarkan data tahanan lambung kapal patroli cepat 60 meter yang telah di uji di Laboratorium hidrodinamika
- ☐ Penelitian difokuskan desain propeller kapal patroli cepat 60 meter untuk mencari efisiensi yang tinggi
- ☐ Penelitian menggunakan uji hidrodinamika berupa uji open water tes pada kolam Towing tank.
- ☐ Penelitian didasarkan untuk mencari besarnya efisiensi propeller saja tanpa mengetahui kavitasi yang terjadi propeller tersebut.

## **1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui seberapa besar efisien desain propeller yang telah di hasilkan agar mampu menggerakkan kapal patroli cepat 60 meter pada kecepatan yang di tetapkan. Sehingga di harapkan mampu meminimalisir penggunaan daya mesin pada kapal tersebut.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu referensi propulsor dan memberikan sebuah jawaban kepada pihak galangan maupun lembaga desain kapal di Indonesia untuk mengurangi ketergantungan pada pihak asing dalam pengembangan teknologi sistem propulsi. Dan mampu membuka peluang rancang

bangun industri manufaktur peralatan Hankam Indonesia khususnya propeller kapal patroli.

### **1.5 Hipotesis**

Dengan menggunakan teori lifting line untuk propeller kapal Patroli 60 meter, di harapkan desain propeller mampu mendorong kapal patroli 60m pada kecepatan yang telah di tetapkan berdasarkan efisiensi yang baik”.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Kajian Terkait Penelitian**

Beberapa penelitian yang terkait desain propeller pada kapal cepat memang jarang yang terpublikasikan. Karena desain tersebut lebih bersifat komersil bagi propeller maker. Untuk itu dengan beberapa referensi dalam mendesain propeller serta di dukung fasilitas Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, diharapkan langkah numerik dan uji experimental mampu memberi sedikit gambaran desain propeller yang cocok di gunakan untuk kapal patroli cepat 60 meter.

Adapun beberapa penelitian yang pernah di lakukan untuk mencari desain propeller pada kapal cepat dapat di lihat pada tabel berikut:

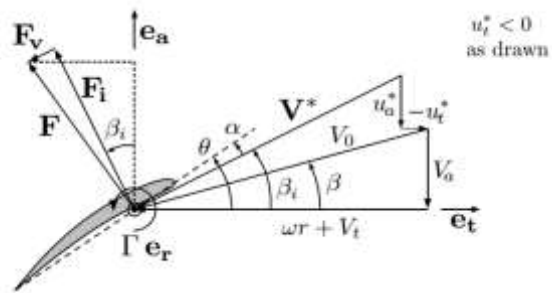
Tabel 2.1. Beberapa penelitian desain propeller

No	Nama	Th	Topik	Tipe propeller	Keluaran
1.	Mario Componeto	1997	A New Propeller Design Method For Fast Planing Boat Application	NACA 66 and profil (2MC2016) with 6 blade propeller	Desain propeller dengan NACA 66 dengan profil (2MC2016) yang di aplikasikan pada Fast patrol 2 X 1500 Hp
2.	Alfan Dicky Firmansyah	2012	Perancangan Controllable Pitch Propeller pada Kapal Offshore Patroli Vessel 80 (OPV80).	B-series	Speed power prediction pada kapal cepat OPV 80 dengan menggunakan propeller B4-65
3.	Edy Haryanto	2013	Optimalisasi Design Triple Screw Propeller Kapal Patroli Cepat 40m Dengan Pendekatana CFD	B-series	Aplikasi Propeller B Series dalam menentukan konsigurasi desain triple screw kapal patroli 40m yang efisien
4.	Breno Inglis Favacho	2016	Contribution to the marine propeller hydrodynamic design for small boats in the Amazon region	B-series	Apalikasi penggunaan propeller B-series untuk fast small boat

#### **2.2 Lifting Line Propeller dan Teori Propeller**

Telah banyak teori yang diajukan untuk menjelaskan cara sebuah baling-baling menghasilkan gaya dorong. Semua teori tersebut dikembangkan melalui pekerjaan yang sangat banyak, baik secara teoritis maupun memakai percobaan, yang dilakukan dalam cabang ilmu aerodinamika. Sekalipun demikian belum ada teori yang diajukan yang memperhitungkan semua factor yang terlibat dalam aksi baling-baling

Karya tulis (treatise) Betz (1919) dan Goldstein (1929) mengenai baling-baling optimum, hal penting, merupakan dasar bagi teori balingbaling modern. Aliran yang berada jauh di belakang baling-baling dapat dipandang sebagai aliran yang ditimbulkan oleh sejumlah lembaran pusaran ikut (trailing vortex sheets) yang kaku bergerak mundur dengan kecepatan aksial yang tetap. Dengan penyelesaian memakai cara Goldstein maka dapat dicari hubungan antara distribusi sirkulasi balingbaling yang mempunyai daun dalam jumlah yang berhingga dengan distribusi sirkulasi baling-baling yang mempunyai daun dalam jumlah yang 8 tak berhingga. Teori ini disebut teori gaya angkat garis (lifting line theory) dan menyatakan hubungan antara kuantitas aliran pada garis yang mendapatkan gaya angkat (lifting line) dan kuantitas aliran pada tempat yang jauh dari hilir aliran. Penerapan teori gaya angkat garis tersebut telah disederhanakan dalam metode factor induksi (induction factor method) oleh Lerbs (1952).



Gambar 2.1. Gambar Teori Lifting line

Daun baling-baling dipandang tersusun dari sejumlah strip bundar dari tepi depan hingga tepi ikut daun. Masing-masing elemen daun. Masing-masing elemen daun dianggap berfungsi seolah-olah sebagai bagian dari hydrofoil. Dengan demikian maka kecepatan fluida related terhadap masing-masing elemen daun adalah resultan dari kecepatan aksial dan kecepatan sudut, sebagaimana ditunjukkan dalam diagram kecepatan pada Gambar. 2 Disini masing-masing kecepatan induksi pada daun baling-baling dinyatakan sebagai  $U_A(r)$  dan  $U_T(r)$ .  $r$  adalah jarijari baling-baling sampai pada penampang daun yang bersangkutan. Pengaruh kecepatan induksi radial ( $U_R$ ) diabaikan. Masing-masing kecepatan induksi tidak termasuk perubahan kecepatan di dalam medan arus ikut akibat interaksi baling-baling badan kapal.  $\theta$  menyatakan posisi sudut penampang daun.  $V_x(r,0)$  adalah kecepatan maju setempat.  $V_\theta(r,\theta)$  adalah kecepatan singgung relatif setempat di dalam medan arus ikut.  $\alpha$  sudut pukul atau insiden,



misalnya sudut pukul relative terhadap garis chord termasuk kecepatan induksi.  $\alpha$  sudut insiden geometris.  $\beta$  sudut maju penampang daun baling-baling.  $\beta_1$  sudut langkah ulir hidrodinamis terhadap penampang daun baling-baling.  $\omega_r$  kecepatan putar,  $\omega$  adalah kecepatan sudut.

Pada penelitian ini kami menggunakan program *Open Source* berupa *OPEN PROP v.2.4.6* dengan menggunakan bahasa program berupa *MATLAB*. Dimana desain propeller ini bentuk foilnya sudah ditentukan berdasarkan NACA 0.8. sehingga harga Thrust dan Torsinya dapat di tentukan.

Dasar penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besarnya efisiensi dari propeller yang telah di desain. Baik tanpa maupun dengan menggunakan dummy model. Untuk mengetahui efisiensi propeller uji open water test atau uji propeller dalam keadaan terbuka dan menggunakan dummy model pada pengujian di fasilitas cavitation tunnel. Uji open water ini menggunakan alat ukur open water propeller yang tersedia di UPT BPPH. Melalui alat ukur ini besarnya thrust dan torque model propeller dapat diukur dengan cara memvariasikan kecepatan model propeller saat di uji.. sehingga di dapatkan harga thrust (T) dan torque (Q) dan dapat dihitung thrust coefficient  $K_T$  dan torque coefficient  $K_Q$  berdasarkan advanced speed coefficient (J).  $K_T$ ,  $K_Q$ , J berturut-turut dapat didefinisikan melalui persamaan sebagai berikut,

$$K_T = \frac{T_{Pr op}}{\rho \times n^2 \times D^4} \dots\dots\dots[1]$$

$$K_Q = \frac{Q_{Pr op}}{\rho \times n^2 \times D^5} \dots\dots\dots[2]$$

$$J = \frac{V_A}{n \times D} \dots\dots\dots[3]$$

$$\eta_o = \frac{J \times K_T}{2 \pi \times K_Q} \dots\dots\dots[4]$$

Dimana:

$T_{Prop}$  = gaya thrust / gaya dorong propeller (N)

$Q_{Prop}$  = momen putar propeller (Nm)

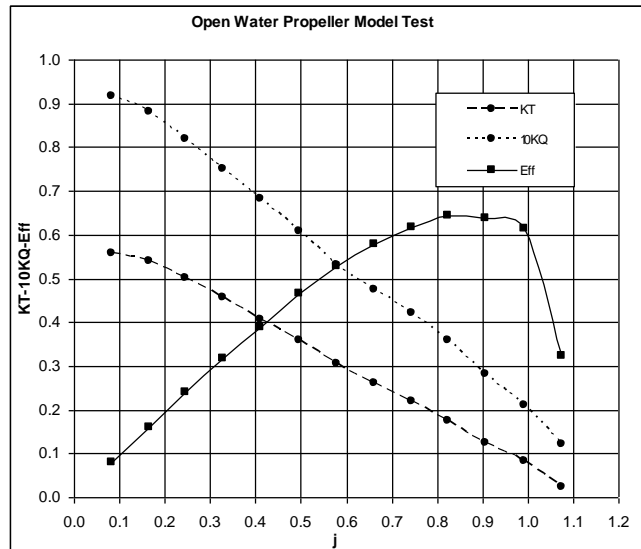
N = besaran putaran propeller (rps)

D = diameter propeller (m)

$V_A$  = kecepatan air yang melewati piringan daun propeller / propeller disk (m/s)

$\rho$  = densitas air (kg/m<sup>3</sup>)

$\eta_0$  = efisiensi propeller pada open water test



Gambar 2.2. Contoh diagram KT-KQ-J

Sedangkan untuk mengetahui besar kecilnya kavitasi yang terjadi pada propeller perlu di lakukan pengujian model propeller di cavitation tunnel. Karena berdasarkan Carlton (2007) diketahui bahwa propeller noise terdiri dari empat komponen, yaitu: cavitation noise, blade singing noise, blade rate noise dan turbulence noise. Cavitation noise merupakan komponen terbesar dari propeler noise, terutama pada kapal yang bergerak dengan kecepatan yang tinggi. Singing noise disebabkan oleh getaran yang timbul sebagai akibat lengkungan blade propeler. Besarnya frekuensi noise ini bergantung pada besarnya frekuensi getaran

### 2.3 Pengujian Open Water Propeller Model Kapal Patroli 60m

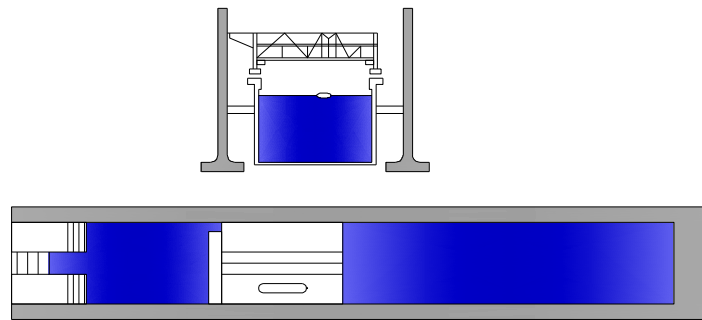
Prosedur pengujian open water test berdasarkan referensi yang di berikan oleh MARIN. Dimana pengujian propeller di lakukan tanpa dummy model kapal patroli cepat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik propeller yang telah di desain. Sehingga dari hasil performa tersebut dapat di ketahui efisiensi propeller kapal pada putaran operasional.

Karena pengujian ini dilakukan di laboratorium, benda dan alat uji harus dilakukan dengan skala, baik dimensi propellernya, putaran propeller, maupun kecepatan carriage

### 2.3.1 Persiapan

#### ❑ Model Propeller dan Fasilitas Pengujian

Pada prinsipnya skala model propeller dibuat sebesar mungkin untuk mengurangi factor scale effect. Namun hal tersebut harus memperhatikan kemampuan dan kapasitas Carriage di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia. Maka parameter-parameter pengujian model propeller harus diperhatikan dan disesuaikan dengan kapasitas dan peralatan carriage



Gambar 2.3. Ilustrasi Towinck Tank LHI

Ukuran : 234 m dengan harbor, x 11.0 m. Water Depth 5.5 m

Control sistem : Thyristor controlled DC motors

Percepatan Maksimum :  $1 \text{ m/sec}^2$

Kecepatan maksimum : 7 m/sec

Sistem analisa : - Maximum sample frequency of 100 Hz  
- Data recording

Akuisisi data : Labview

Pengukuran : - Menggunakan Dynamometer H-39  
- R33 dan R31 untuk uji self propulsion

Sedangkan untuk skala 1:7 saat pengujian propeller dapat di gunakan persamaan sebagai berikut,

Kecepatan model  $V_m$  (m/s) :  $0.5144444 \times V_s / \alpha^{0.5}$

Putaran model (Rps) :  $(\text{Rpm}/60) \times \alpha^{0.5}$

Model uji harus mempunyai material yang kuat dan ukuran yang presisi. Untuk itu sebelum di lakukan pengujian biasanya di lakukan model balancing pada setiap daunnya guna mendapatkan kesamaan berat pada setiap daunnya

#### ❑ *Inspeksi*

Sebelum dilakukan pengujian harus dilakukan inspeksi terhadap model propeller kapal :

- Ukuran utama
- Konfigurasi entuk blade propeller
- Bentuk hub propeller
- Pengukuran Berat dan hub propeller
- Balancing model propeller

#### ❑ *Set up Peralatan*

Persiapan peralatan saat pengujian sangat penting guna menunjang efektifitas saat dilakukan pengujian model. Adapun beberapa peralatan dan fungsi yang wajib di gunakan saat pengujian open water di Towink Tank.

- Dynamometer H-39 yang dipasangkan pada Carriage Towing Tank yang akan di gunakan untuk mengukur Thurst dan Torsi propeller.



Foto 2.1. Dynamometer H-39

- Persiapan program Labview pada komputer di carriage untuk recording data akuisisi yang di hasilkan dari pengujian pengujian open water test
- Kalibrasi kecepatan carriage kolam bila perlu di lakukan
- Set up peralatan dan model propeller di kolam Towing Tank

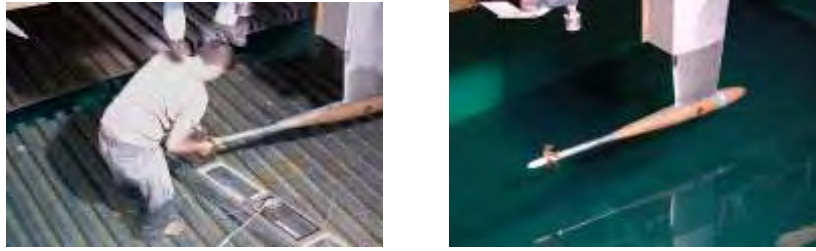
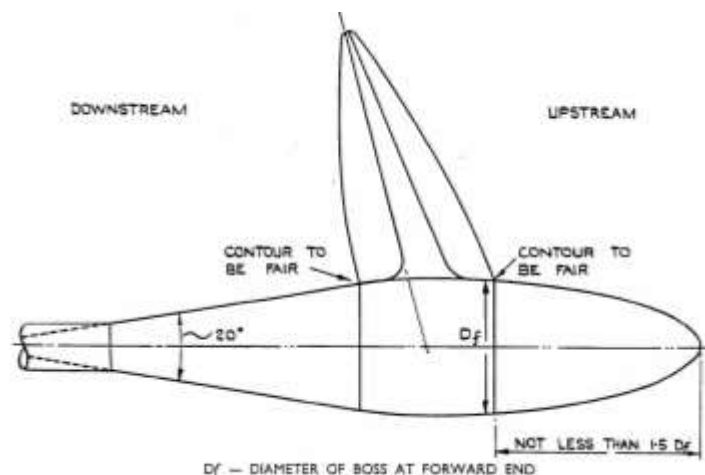


Foto 2.2 Pemasangan model propeller pada Dynamometer

### 2.3.2 Prosedur Pengujian

Ada tahapan saat akan di laksanakan pengujian, dimana tahapan tersebut harus saling berkaitan dalam menentukan hasil pengujian open water tes propeller model, yaitu

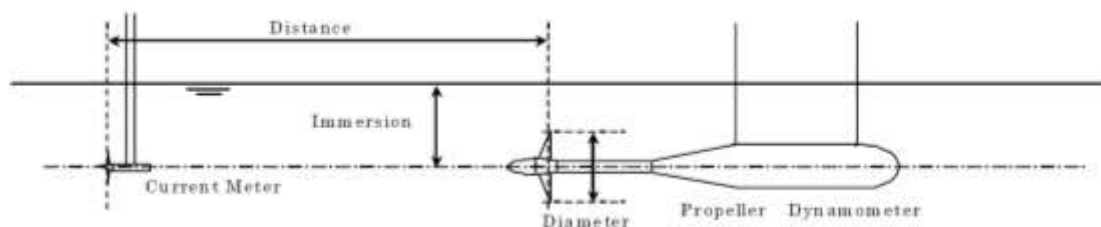
1. Model *propeller* dibuat berdasarkan perosedur standar yang telah ditentukan oleh ITTC
2. Model *propeller* dipasang pada poros penggerak
3. Panjang dari *cap propeller* secukupnya dan berbentuk *streamline*, sehingga aliran air yang masuk ke hub propeller tidak terganggu.(lihat Gambar 1)
4. Dimensi kolam harus cukup untuk menghindari timbulnya gangguan aliran air.
5. Sambungan antara *cap* dan *hub* harus mulus dan tidak ada jarak dan tanpa celah.
6. Untuk menghilangkan naiknya tekanan pada sisi depan *hub* dan rumah poros bagian berputar dari *hub* harus diposisikan sedemikian rupa untuk menghindari naiknya tekanan



Gambar 2.4 Geometri dari fairing model propeller

Sebelum dilakukan pengujian perlu dilakukan persiapan pengujian termasuk instalasi atau *set-up* pengujian *open water* (lihat Gambar 2.8). Adapun prosedur yang harus dilakukan sebelum tes adalah sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian, maka dilakukan terlebih dahulu pra uji untuk mengetahui *streamline* dari *cap propeller*. Pengukuran ini harus dilakukan pada *hub propeller* tanpa daun *propeller*
2. Sebelum dan setelah dari setiap seri pengujian, dilakukan pengukuran nol (*zero measurement*), untuk memastikan tidak ada penyimpangan.
3. Setiap pengujian, daya dorong, torsi, putaran *propeller* dicatat secara bersamaan.
4. Kisaran koefisien muka harus meliputi rentang dari  $J=0$  sampai  $KT<0$ , dalam rangka untuk menentukan secara akurat titik di mana  $KT=0$ .
5. Harus ada waktu jeda yang cukup antara dua pengujian untuk mencapai kondisi yang sama dan mendapatkan hasil yang konsisten.
6. Pengujian ini harus dilakukan setidaknya pada 2 *Reynolds Number*. Yang pertama pada *Reynolds Number* yang digunakan untuk evaluasi tes propulsi dan yang lain harus setinggi mungkin.



Gambar 2.5. Set-up pengujian open water propeller

#### ❑ Kalibrasi peralatan

Kalibrasi ini di gunakan pada dynamometer H-39, tujuan kalibrasi ini adalah untuk memberikan output atau besaran gaya yang terukur oleh alat tersebut. Untuk itu wajib di lakukan kalibrasi sebelum dilakukan pengujian open water test.

#### ❑ Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan test ini di laksanakan berdasarkan prosedur MARIN dimana sebelum di laksanakan harus di tentukan nilai  $J$  (*advance Koefisien*) propeller

- Open Water Test adalah pengujian pada propeller model di mana parameter kecepatan dan putaran propeller telah di skalakan terlebih dahulu. Sebelum di

laksanakan engujian open water test biasanya di berikan data inputan nilai J (*advance Koefisien*) dengan variasai antara (0-1.2) dimana kecepatan Carriage disesuaikan dengan persamaan [4]

- Dilakukan tes pada hub propeller model yang di gunakan sebagai koreksi torsi saat pengujian open water test.

### **2.3.3 Data Akuisisi dan Analisa**

#### **❑ Data pengukuran**

Beberapa data yang harus direkam saat pengujian open water test antara lain ;

- Kecepatan Carriage
- Rpm Propeller
- Thusrt propeller model
- Torsi propeller model

#### **❑ Data Akuisisi**

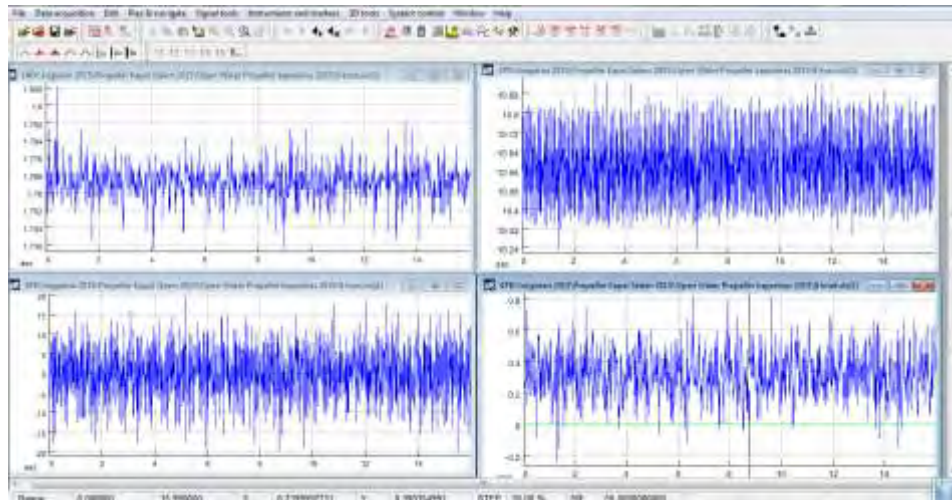
Data sampling rate dan filter harus ditentukan berdasarkan response dari propeller model dan frekuensi noise utama yang terjadi. Sampling rate di tentukan sebesar 50 Hz.

#### **❑ Inspeksi Visual**

Pengukuran secara real time harus direkam. Setelah masing-masing run data seharusnya diinspeksi berdasar domain waktu untuk mengetahui error yang mungkin terjadi baik oleh penambahan nilai karena noise, overload atau kerusakan sensor.

## **2.4 Sistem Pengukuran Open Water**

Untuk pengukuran data open water tast biasanya di lakukan secara real time dimna maksimum dari data yang akan di ukur sudah di tentukan terlebih dahulu yaitu antara 1000 Hz sampai 2000 Hz tergantung dari kecepatan carriage yang di inginkan. Adapun salah satu contoh dalam pengambilan data secara real time dapat dilihat hasil pengukuran sebagai berikut,



Gambar 2.6 Pengambilan data secara realtime



## **BAB 3**

### **METODA PENELITIAN**

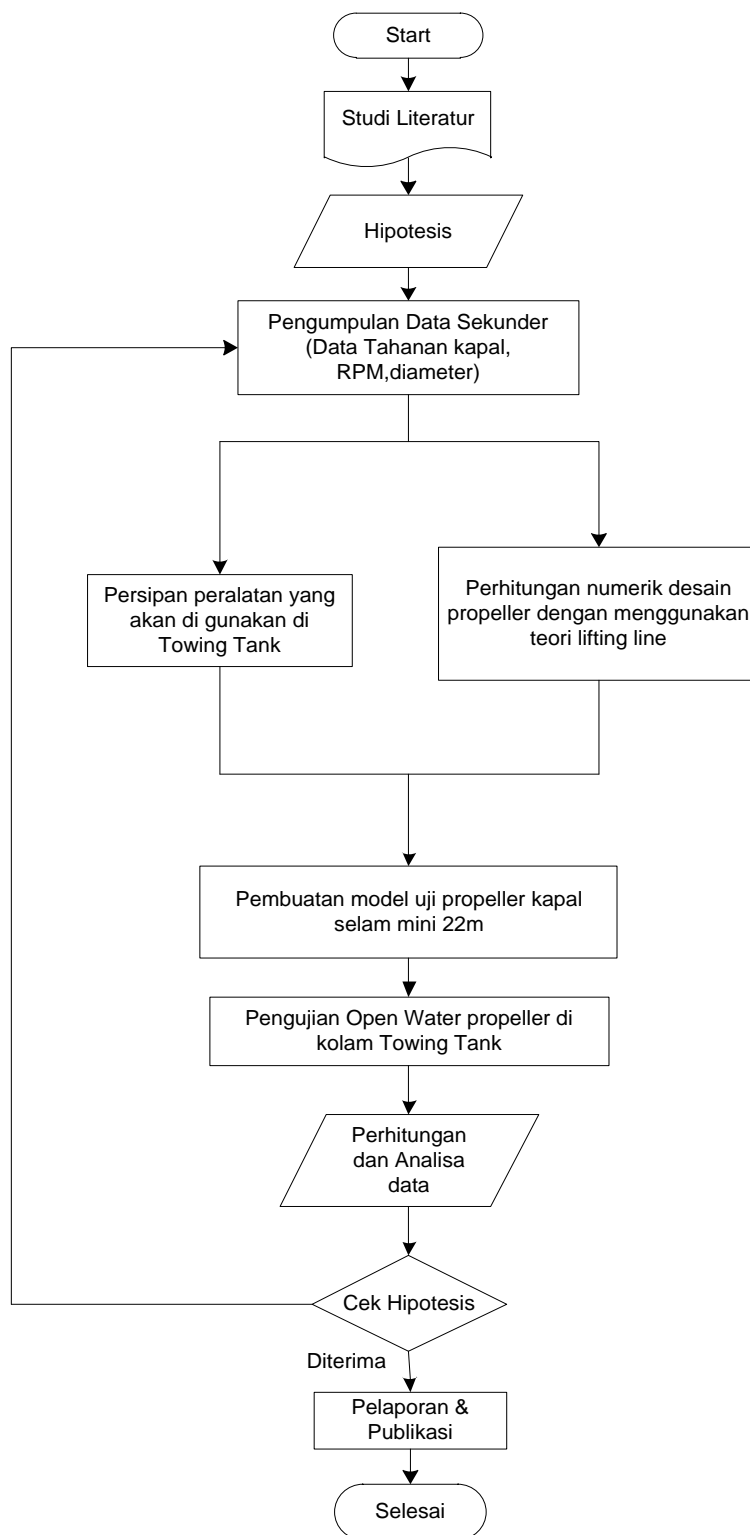
Untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi maka akan digunakan metoda numerik dan pengujian. Metode numerik dilakukan untuk mengetahui performa diagram dari propeller yang akan dibuat dalam skala model. Pengujian model propeller dilaksanakan dalam skala model uji 1:7. Perhitungan numerik dan eksperimen dilakukan dengan melalui beberapa tahapan mulai dari pengumpulan data sekunder, persiapan model propeller, persiapan kolam dan akuisisi data di komputer carriage, kalibrasi, dan analisa data primer hasil pengujian. Pengujian propeller open water akan dilaksanakan di kolam Towing Tank (TT), UPT Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT, Surabaya.

Untuk memperjelas metoda yang digunakan dapat dilihat pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3-1. Diagram alir metoda penelitian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3-1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### **3.1 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk mencari beberapa sumber dan referensi yang terkait dengan perancangan desain propeller pada kapal patroli dan data tahanan pada yang akan digunakan sebagai dasar penentuan gaya dorong oleh propeller. Studi literatur dilakukan dengan mencari berbagai publikasi / jurnal ilmiah yang ada serta buku-buku referensi tentang desain propeller kapal.

Studi tentang metode pengukuran serta pengambilan data pengujian mengikuti prosedur MARIN. Dimana Dynamometer H-39 dan alat ukur RPM diambil secara realtime bersamaan dengan berjalanya carriage towing tank pada kecepatan yang telah ditentukan. Pengambilan data uji akan disimpan di komputer dan akan di analisa. Hasil analisa pengujian akan dijadikan output berupa hasil uji open water test model propeller kapal Patroli cepat 60 meter.



Gambar 3.1. Diagram Alir Metoda Penelitian

### 3.2 Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder meliputi data-data yang berhubungan dengan penentuan ukuran utama model propeller kapal patroli (data tahanan kapal patroli

cepat 60m, Rpm propeller, wake fraction, thrust deduction factor, dan diameter propeller ), data ini dapat di peroleh berdasarkan penelitian yang telah di lakukan sebelumnya, dimana data dapat di lihat pada bab tinjauan pustaka. Selain dari hasil penelitian data koefisien wake dan thrust deduction factor dapat di ambil dari buku referensi yang ada.

Dari data sekunder dan studi literature digunakan sebagai inputan utama untuk mendesain sebuah propeller model kapal Patroli cepat 60m. dimana dari data tersebut dapat di tentukan ukuran utama propeller yang akan dibuat permodelanya.

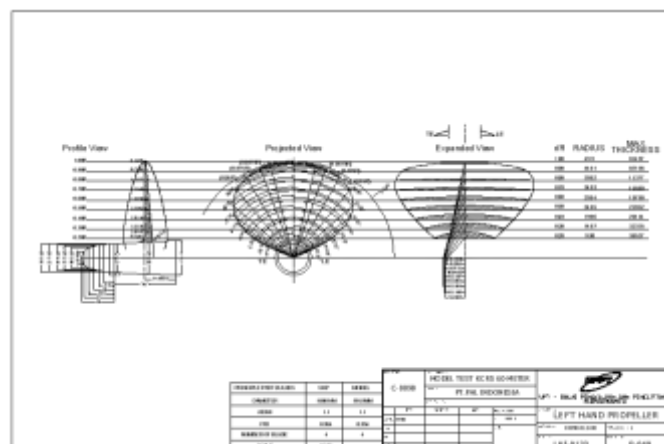
### 3.3 Perhitungan dan Analisa Desain Propeller Kapal Patroli Cepat 60m

Untuk perhitungan desain propeller digunakan program open source berupa *OpenProp* dimana untuk menjalankan program tersebut di butuhkan software berupa *Matlab*. Dari perhitungan tersebut akan di dihasilkan data berupa luasan expanded propeller, ketebalan foil propeller, pitch propeller, desain performance dan data diagram KT, KQ dan J.

### 3.4 Pembuatan Model

Pembuatan model propeller dilakukan di bengkel mekanik UPT. BTH-BBPT. Pembuatan model akan di lakukan jika analisa dengan menggunakan numerical computation cukup baik. Sehingga pemilihan desain dari analisa perhitungan bisa di pertanggung jawabkan.

Dari gambar 2D yang telah di dihasilkan maka kita dapat memberikan ukuran pada gambar 2D yang akan di terjemahkan di bengkel mekanik.



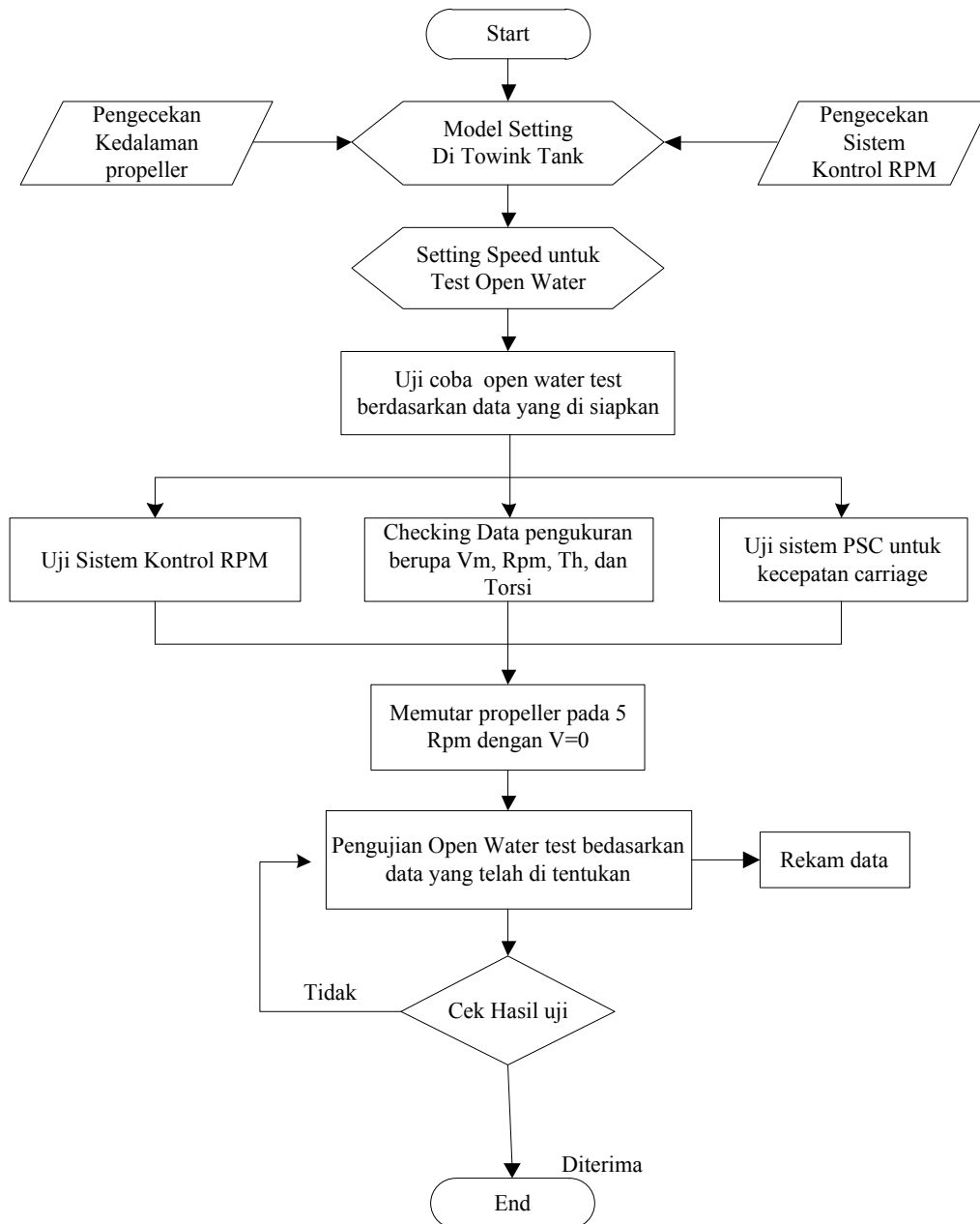
Gambar 3.2. Gambar 2D propeller

Dari gambar tersebut, maka bisa di buat cetakan benda kerjanya berdasarkan tabel pengukuran section side dan pressure side model proller. Maka, setelah cetakan jadi dapat dibuat model propellernya dengan cara casting dengan bengkel mekanik. Molding yang di hasilkan dari proses casting akan di gerinda sesuai ketebalan daun propeller yang telah di tentukan.

### **3.5 Persipan dan Pengujian Open Water di Towing Tank**

Tahapan berikutnya dari metoda penelitian ini adalah pengujian open water model propeller. Dimana model propeller yan telah di hasilkan akan di ballancing di bengkel mekanik. Hal ini perlu di lakukan karena untuk mengukur kerataan berat pada setiap dau propeller. Selain melakukan ballancing perlu juga dilakukan kalibrasi alat ukur dynamometer H-39, tujuanya adalah untuk memperoleh hasil ukur yang akurat. Dan tak lupa mengecek sistem tranfer data untuk pengambilan dan program Labview di carriage Towink Tank.

Setelah persipan pengujian telah di laksanakan, maka set up pemasangan model propeller ke alat ukur dynamometer bisa di laksanakan. Hal tersbut bisa di lihat pada gambar 2-15. Adpun skema pengujian open water test dapat di lihat pada diagram alir berikut.



Gambar 3.3. Flowchart Pengujian Open Water test

Gambar 3-4 Menunjukkan diagram alir pengujian yang siap di laksanakan di kolam Towink Tank UPT-BTH. Persiapan pertama kali yang harus di lakukan adalah mengumpulkan peralatan pengujian. Setelah itu model propeller di pasang pada alat ukur dynamometer H-39 dan di lakukan pengecekan kedalaman model propeller yang tercelup di dalam kolam tarik. Jika pemasangan propeller sudah dilaksanakan

maka beberapa kabel dari dynamometer di hubungkan ke kontrol RPM dan PSC pada DAQ, hal ini bertujuan untuk perekaman data pengujian.

Setelah dilaksanakan persiapan tersebut, maka kita mencoba setting kecepatan beserta pemanasan carriage Towing Tank dan juga di laksanakan percobaan RPM propeller. Uji coba open water test pada propeller perlu di lakukan 1 sampai 2 kali jalan, karena hal ini berhubungan langsung dengan perekaman data akuisisi dan sistem kontrol rpm dan penerimaan data kecepatan di PSC.

Setelah semua siap bisa di mulai pengujian open water propellernya, dengan sarat perlu ada pengambilan data zero point dimana propeller di putar pada 5 Rpm. Data yang di hasilkan pada pengujian open water test akan di analisa apakah data tersebut terdapat noise atau tidak. Jika terdapat noise maka kita bisa menfilte data tersebut.

### 3.6 Perhitungan dan Analisa Data

Langkah selanjutnya adalah membuat tabelhasil pengujian open water pengujian dan dapat di buat grafiknya.

Tabel 3.1. Contoh tabel pengujian open water test

Data Pengukuran Open Water Test									
	RPM Prop:	550	RPM Prop M:	2132.270		Kedalaman :	15.74	cm	
	RPS:	9.167	RpsM:	35.538		*Propeller Kanan			
	Diamater:	1.75 m	Diameter M:	0.1164338 m		Arah CCW dilihat dari belakang propeller (belakang hub)			
	skala:	15.03	Suhu:	27.2 °C					
	Rho:	1000							
No	Speed (knot)	Speed Carriage (m/s)	Rps	J	Speed (m/s)	Rps	Thrust (N)	Torque (Nm)	
1	3.1	0.414	35.538	0.100					
2	6.2	0.828	35.538	0.200					
3	9.4	1.241	35.538	0.300					
4	12.5	1.655	35.538	0.400					
5	15.6	2.069	35.538	0.500					
6	18.7	2.483	35.538	0.600					
7	21.8	2.896	35.538	0.700					
8	24.9	3.310	35.538	0.800					
9	28.1	3.724	35.538	0.900					
10	31.2	4.138	35.538	1.000					
11	34.3	4.552	35.538	1.100					
12	37.4	4.965	35.538	1.200					

Data yang di hasilkan pada pengujian open water test adalah kecepatan, Rps, Thurst dan torsi dimana untuk mencari koefisien  $K_T$  ,  $K_Q$  dan effisiensi dapat di gunakan dengan menggunakan persamaan [2], [3], dan [5]

### 3.7 Pelaporan dan Publikasi

Tahap akhir dari suatu kegiatan penelitian adalah menulis atau menyusun laporan penelitian. Penulisan laporan penelitian merupakan bagian yang sangat penting, karena melalui laporan penelitian tersebut, hasil penelitian dapat dibaca oleh orang lain, mudah dipahami, serta dapat dijadikan sebagai alat dokumentasi untuk pengujian dan pengembangan penelitian lebih lanjut.

Langkah selanjutnya untuk menyebarluaskan hasil penelitian yang tersusun dalam laporan penelitiandengan melakukan publikasi karya ilmiah tersebut pada jurnal-jurnal yang telah diakui.

### 3.8 Jadwal Kegiatan

No	Jenis Kegiatan	Bulan ke				
		1	2	3	4	5
1	Studi Literatur	x	x	x	x	x
2	Perhitungan Numerik dengan MATLAB		x			
3	Gambar propeller dan pembuatan benda uji		x	x		
4	Persiapan dan kalibrasi alat ukur		x	x		
5	Pengujian model propeller di Towing Tank			x	x	
6	Analisa dan penulisan laporan				x	x

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Utama

Sebagai salah bagian dari sebuah penelitian data utama kapal murni di perlukan sebagai dasar acuan penelitian, dimana data tersebut biasanya terdiri dari gambar rencana garis kapal, gambar general arrangement, maupun data hidrostatik pada sarat yang telah di tentukan. Adapun data terebut di dapatkan dari pihak galangan pembuat kapal patroli 60m.

Untuk data ukuran utama dan hidrostatik kapal dapat dilihat pada tabel berikut,  
Tabel 4.1. Ukuran utama kapal

No.	ITEM	SIMBOL	NILAI	SATUAN
1	Length over all	LOA	59.543	m
2	Length on waterline	Lwl	54.032	m
3	Breadth moulded	B	8.100	m
4	Depth moulded	D	4.900	m
5	Draught moulded on FP	T <sub>F</sub>	2.570	m
6	Draught moulded on AP	T <sub>A</sub>	2.570	m
7	Displacement volume moulded	$\Delta$	450.2	m <sup>3</sup>
8	Mass density of seawater	$\rho$	1025	ton/m <sup>3</sup>
9	Wetted surface area bare hull	S	453.3	m <sup>2</sup>
10	Wetted surface area with appendages	S <sub>1</sub>	-----	m <sup>2</sup>
11	Block coefficient	C <sub>B</sub>	0.391	
12	Mid ship section coefficient	C <sub>M</sub>	0.563	
13	Prismatic coefficient	C <sub>P</sub>	0.694	

Sedangkan gambar rencana garis dapat di lihat pada gambar 4.1. tujuan data hisdrostatic dan gambar rencana garis adalah untuk mengitung nilai *wake fraction* (w) dan thrust *deduction factor* (t) dengan menggunakan program *MARIN DESP*. Karena data tersebut diperlukan untuk menghitung KT desain pada setiap kecepatan kapal, yang akan di plotkan pada diagaram open water hasil untuk mengetahui harga proppeller load yang di hasilkan.





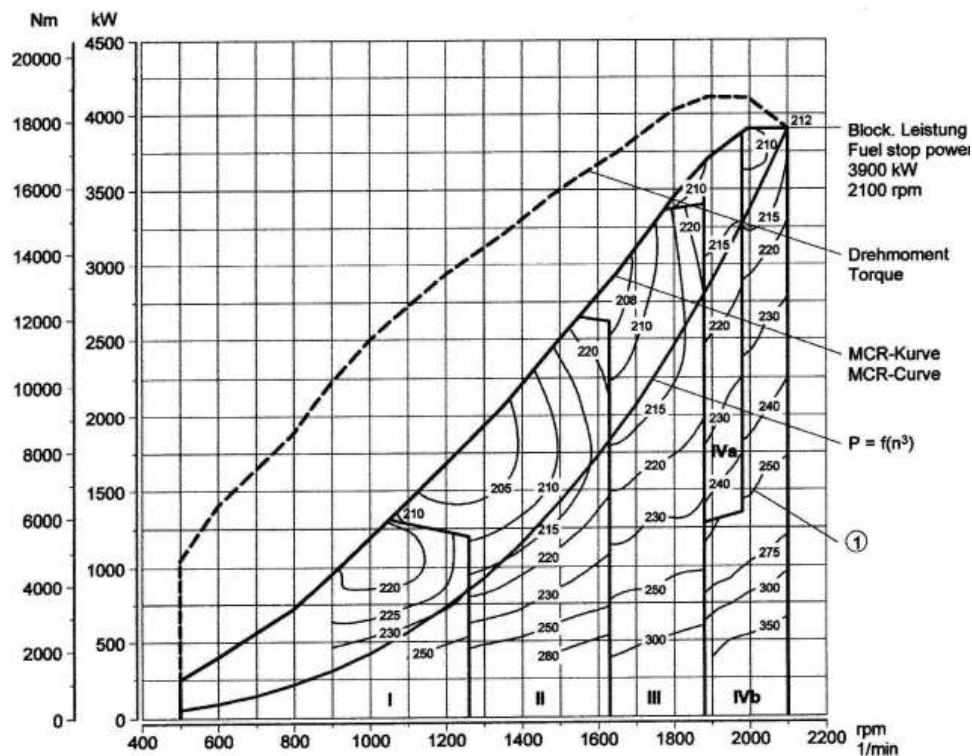
Dengan data hidrosatik kapal pada pada sarat 2.57 dan gambar rencana garis kapal maka dapat di hitung pendekatan *wake fraction* dan *thrust deduction factor* pada setiap kecepatan.

Tabel 4.2. data perhitungan *wake fraction* dan *Thrust deduction factor*

VS	R-TOT	THRUST	W	T	ETA-H	ETA-R	ETA-0	ETA-D
[knots]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
25	265.3	280.9	0.044	0.06	0.988	1	0.599	0.591
25.5	273.3	289.4	0.044	0.06	0.988	1	0.598	0.59
26	280.2	296.8	0.044	0.06	0.988	1	0.596	0.589
26.5	286.6	303.6	0.044	0.06	0.988	1	0.595	0.588
27	292.4	309.7	0.044	0.06	0.988	1	0.594	0.587
27.5	297.6	315.2	0.044	0.06	0.988	1	0.593	0.586
28	302.3	320.2	0.044	0.06	0.988	1	0.593	0.585
28.5	306.6	324.7	0.044	0.06	0.988	1	0.592	0.584
29	310.6	329	0.044	0.06	0.988	1	0.591	0.584
29.5	314.9	333.5	0.044	0.06	0.988	1	0.59	0.583
30	319.2	338.1	0.044	0.06	0.988	1	0.589	0.581

Dari data di atas dapat di lihat bahwa harga *wake fraction* dan *trust deduction factor* adalah 0.044 dan 0.055. setelah data tersebut di ketahui maka, di butuhkan data hasil pengujian tahanan model kapal. Dimana data ini di dapatakan di Balai Teknologi Hidrodinamika. Data tahanan perlu di gunakan untuk menentukan Thrust kapal ( $T_s$ ) pada kecepatan operasional. Dimana telah di tentukan kapal dapat beoperasi pada kecepatan penuh di 28 knot. Untuk itu dari data tahanan tersebut Thrust proppller (TP) yang di hasilkan harus lebih besar dari Thrust kapal pada kecepatan 28 knot, dengan kata lain  $T_p > T_s$ .

Karena main engine telah di tentukan, maka untuk menghitung engine matching propellernya di perlukan data engine envelope yang didapat dari pihak galangan kapal yang merencanakanya. Adapaun mesin yang digunakan sebesar 2 X 3900 KW. Sehingga total mesin yang terpasang pada kapal di rencanakan sebesar 7800 KW untuk 0% sea margin. Dalam artian besarnya mesin yang akan di instal ke kapal masih dalam perhitungan SHP (Shaft Horse Power) pada kondisi muatan penuh.



Gambar 4.2 Engine Envelope MTU 3900 Kw. Sumber Engine Envelop PT PAL Indonesia

## 4.2 Analisa Perhitungan Numerik

Dalam melakukan analisa perhitungan numerik desain propeller dengan menggunakan teori lifting line, data yang kita gunakan bisa berasal dari dua sumber, yaitu dari kapal sebenarnya dan data pengujian model. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan sumber data percobaan model yang dilaksanakan di BTH. Percobaan dilaksanakan pada 2.57 m (full load condition). Sehingga hasil dari pengujian tahanan pada setiap kecepatan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 4.3. Hasil extrapolasi uji tahanan model kapal patroli 60m sarat 2.57m

VS	Vm	Rm	Ctm	Cfm	Cres	CFs	CTS	FD	RS	PE
Knots	m/s	N	10*5	10*5	10*5	10*5	10*5	N	KN	
25	3.317	89.98	808	283	446	158	688	13.36	267	3429
26	3.45	95.21	790	281	430	157	672	14.29	282	3767
27	3.583	99.4	765	279	408	156	648	15.24	293	4069
28	3.716	103.88	743	278	388	156	627	16.21	305	4395
29	3.848	108.11	721	276	368	155	606	17.21	316	4720
30	3.981	112.18	699	274	348	154	586	18.23	327	5046

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, maka bisa dihitung kebutuhan gaya dorong kapal tersebut pada kecepatan 28 knot dengan menggunakan persamaan,

$$T = \frac{RT}{(1-t)} \dots\dots\dots [5]$$

Dimana,

T : gaya thrust / gaya dorong propeller (N)

RT : tahanan model kapal selam (N)

t : thrust deduction factor

Sehingga dengan dasar tabel 4.1 bisa dilakukan perhitungan Thrust kapal (pers.5) pada kecepatan 28 knot. dengan nilai Thrust deduction factor sebesar 0.56, dimana harga tersebut didapat dari perhitungan dengan menggunakan MARIN software. Selanjutnya diaplikasikan ke program perhitungan MATLAB dengan beberapa ketentuan diantaranya diameter propeller yang telah ditentukan, putaran propeller berdasarkan Gear box kapal, dan lain –lain. Sehingga dari beberapa inputan tersebut maka kita dapatkan performance propeller kapal yang mampu mendorong kapal pada kecepatan 28 knot.

dengan dasar Thrust kapal tersebut maka, dapat dibuat beberapa variasi propeller baik dari jumlah daun maupun dari tipe propellernya. Untuk desain yang pertama menggunakan propeller symmetrical blade dengan daun. Dengan menggunakan numerical computation berupa MATLAB dihasilkan performace dari **propeller symetrical blade untuk 5 daun.**

The screenshot displays a MATLAB-based calculation interface for propeller performance. It features two main sections: input parameters on the left and calculated results on the right, separated by a vertical line. The interface includes radio buttons to select between SI and English units, with SI currently selected.

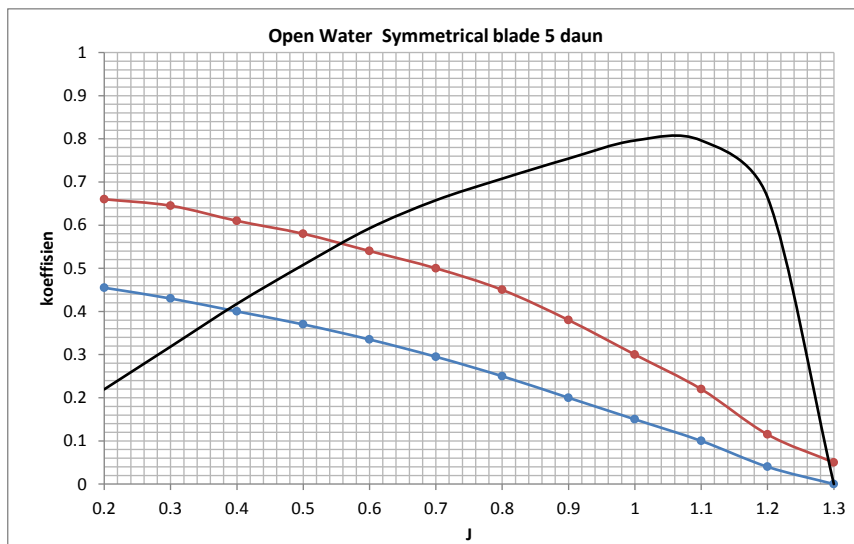
Parameter	Value	Unit
Ship speed (Vs)	14.4	m/s
Rotation speed (N)	550	RPM
Diameter (D)	1.75	m
Thrust (T)	160526	N
Torque (Q)	53993.7099	Nm
Power (P)	3109814.4431	W

Parameter	Value
J	0.89766
KT	0.19872
KQ	0.038195
EFFY	0.74331
ADEFFY	0.87876
CT	0.628
CQ	0.24141
CP	0.84486

Gambar4.3. Data hasil running dengan program MaTLAB

Dari hasil perhitungan numerik di hasilkan nilai koefisien propeller dan harga thrust torsi propeller yang tertera pada gambar 4.2. Sebelum perhitungan numerik sudah di tentukan dulu nilai diameter propeller dan putaran propeller yang akan di gunakan. Penentuan putaran propeller berdasarkan gearbox yang sesuai main engine yang akan di gunakan. Dari hasil perhitungan di atas di hasilkan Thrust propeller kapal sebesar 160.5 KN dan torsi 53.99 KNm. Nilai Thrust dan torsi tersebut harus dikalikan 2 karena mesin kapal patroli ini menggunakan proppeller ganda. Selain itu di hasilkan pula effisiensi propller yang dihasilkan dari perhitungan numerik juga cukup efisien, yaitu 0.743. hal tersebut dapat di lihat pada diaram open water berikut.



Gambar4.4. Gambar open water proppeller Symmetrical blade 5 daun

Selanjutnya dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat di buat KT desain dari kecepatan 25 knot sampai 30 knot dan di plotkan ke gambar open water digram hasil perhitungan pada setiap kecepatan dan dilakukan perhitungan Engine Matching Propeller. Dengan menggunakan (6) ,(7) dan (8) akan di buat grafik KT desain ya

$$\alpha : 0.5 \times \rho \times C_T \times WSA \dots\dots\dots (6)$$

$$\beta : \alpha / (1-t)(1-w)^2 \rho D^2 \dots\dots\dots (7)$$

$$K_T : \beta \times J^2 \dots\dots\dots (8)$$

Dimana,

CT :koefisien thrust

WSA :luasan permukaan kapal yang tercelup ( $m^2$ )

$\rho$  :massa jenis air ( $kg/m^3$ )

t :thrust deduction factor

w :wake fraction factor

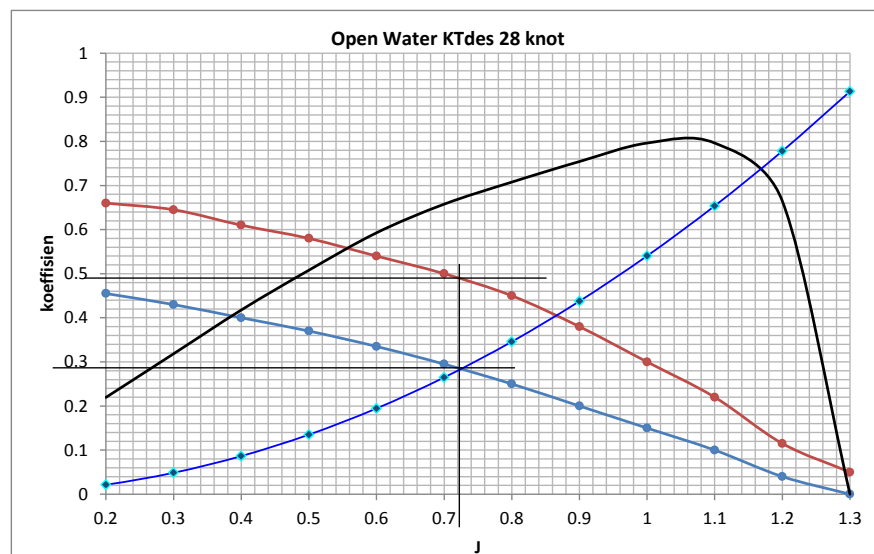
D :diamater propeller

J :advance koefisien propeller

Tabel 4.4. Hasil perhitungan KT desain sarat 2.57m

		25 Knot	26 Knot	27 Knot	28 Knot	29 Knot	30 Knot
J	$J^2$	KT	KT	KT	KT	KT	KT
0.1	0.01	0.0059	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050
0.2	0.04	0.0237	0.0232	0.0223	0.0216	0.0209	0.0202
0.3	0.09	0.0534	0.0521	0.0503	0.0486	0.0470	0.0454
0.4	0.16	0.0949	0.0927	0.0893	0.0864	0.0836	0.0808
0.5	0.25	0.1482	0.1448	0.1396	0.1351	0.1306	0.1262
0.6	0.36	0.2134	0.2085	0.2010	0.1945	0.1880	0.1818
0.7	0.49	0.2905	0.2838	0.2736	0.2647	0.2559	0.2474
0.8	0.64	0.3794	0.3706	0.3574	0.3458	0.3342	0.3232
0.9	0.81	0.4802	0.4691	0.4523	0.4376	0.4230	0.4090
1	1	0.5929	0.5791	0.5584	0.5403	0.5222	0.5050
1.1	1.21	0.7174	0.7007	0.6757	0.6538	0.6319	0.6110
1.2	1.44	0.8537	0.8339	0.8041	0.7780	0.7520	0.7272
1.3	1.69	1.0020	0.9786	0.9437	0.9131	0.8825	0.8534

Dari data KT desain yang telah di buat maka, dapat di buat grafik pada tiap-tiap kecepatan, lalu diplotkan ke diagram open water yang telah dibuat. Untuk di buat perhitungan engine matching propellernya.



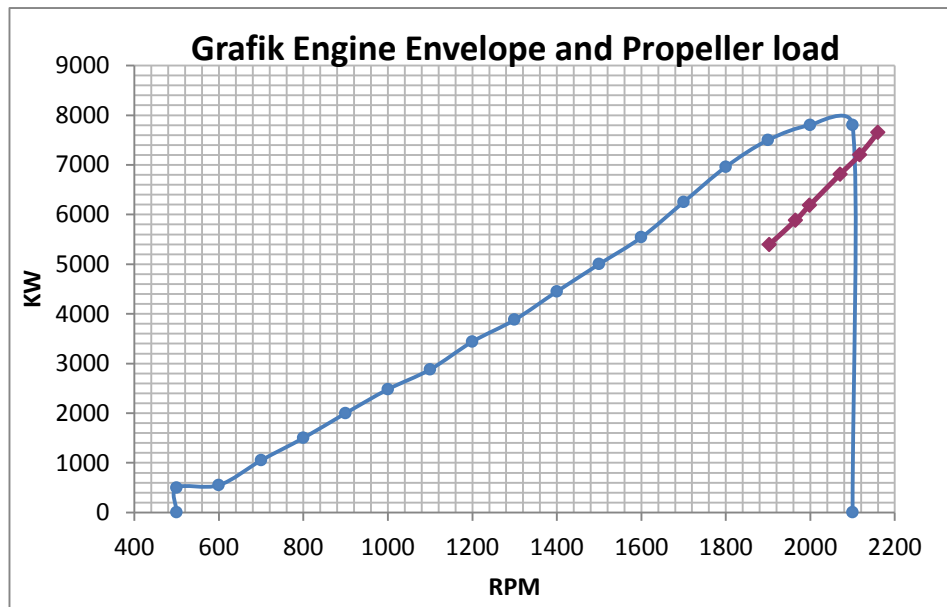
Gambar4.5. Gambar plot KT desain pada 28 knot propeller symmetrical balde 5 daun

Dari hasil gambar diatas maka, kita bisa menentukan nilai J, KT, dan 10KQ pada perpotongan KT desainya. Pada plotting kecepatan 28 knot di hasilkan nilai J 0.725, nilai KT 0.28, dan nilai 10KQ 0.485. dengan melakukan hal yang sama pada setiap kecepatan maka dapat dibuat tabel sebagai berikut.

Tabel 4.5. Hasil Engine Matching Propeller Synmetrical Blade 5 Daun

VS	Va	J	Nprop	N engine	KQ	Q	KT	Th	DHP	SHP
Knots			Rpm	Rpm		KNm		KN	KW	KW
25	12.30	0.7	602	1903	0.0495	83.89	0.29	280.85	5288	5396
26	12.79	0.705	622	1965	0.049	88.55	0.29	299.47	5764	5881
27	13.28	0.72	632	1998	0.049	91.56	0.28	298.96	6060	6183
28	13.77	0.725	655	2071	0.0485	97.32	0.28	321.07	6675	6811
29	14.26	0.73	670	2117	0.048	100.65	0.28	335.51	7057	7201
30	14.75	0.74	684	2160	0.048	104.82	0.28	349.41	7500	7653

Setelah di cari nilai KT,10KQ dan J, makadapat di hasilkan putran proller pada kecepatan 28 knot sebesar 655 rpm, Torsinya sebesar 97.32 KNm dan berturut turut DHP dan SHP sebesar 6675 KW dan 6811 KW. Sehingga dari grafik engine Envelope pada gambar 4.2 dapat di buat grafik engine matching berdasarkan load propellernya.



Gambar4.6. Gambar Engine Matching propeller symmetrical blade 5 daun

Untuk propellernya selanjutnya digunakan variasi propeller **symmetrical blade dengan 4 daun** pada putaran propeller 550 rpm. Kenapa di tentukan putaran tersebut di karenakan mesin dan gearbok kapal telah di tentukan sebelumnya. Hasil perhitungan nunerik propeller dengan menggunakan MaTLAB dapat di lihat pada gambar berikut,

The screenshot displays a MATLAB-based propeller design software interface. It features two main sections: input parameters on the left and output results on the right. The interface is set to SI units.

Parameter	Value	Unit
Ship speed ( $V_s$ )	14.4	m/s
Rotation speed ( $N$ )	550	RPM
Diameter ( $D$ )	1.75	m
Thrust ( $T$ )	160526	N
Torque ( $Q$ )	53796.0377	Nm
Power ( $P$ )	3098429.3405	W

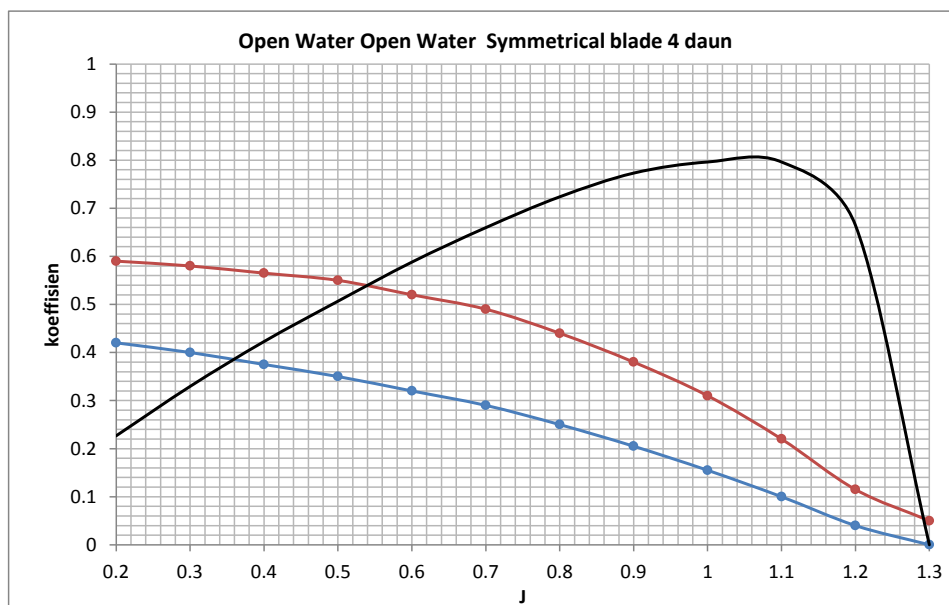
  

Parameter	Value
$J$	0.89766
$KT$	0.19872
$KQ$	0.038055
$EFFY$	0.74605
$ADEFFY$	0.87876
$CT$	0.628
$CQ$	0.24052
$CP$	0.84177

Gambar4.7. Data hasil running dengan program MaTLAB

Dari hasil perhitungan numerik di hasilkan nilai koefisien propeller dan harga thrust torsi propeller yang tertera pada gambar 4.7. Sebelum perhitungan numerik sudah di tentukan dulu nilai diameter propeller dan putaran propeller yang akan di gunakan. Penentuan putaran propeller berdasarkan gearbox yang sesuai main engine yang akan di gunakan. Dari hasil perhitungan di atas di hasilkan Thrust propeller kapal sebesar 160.5 KN dan torsi 53.79 KNm. Nilai Thrust dan torsi tersebut harus dikalikan 2 karena mesin kapal patroli ini menggunakan proppeller ganda. Selain itu di hasilkan pula efisiensi propller yang dihasilkan dari perhitungan numerik juga cukup efisien, yaitu 0.746. hal tersebut dapat di lihat pada diaram open water berikut.





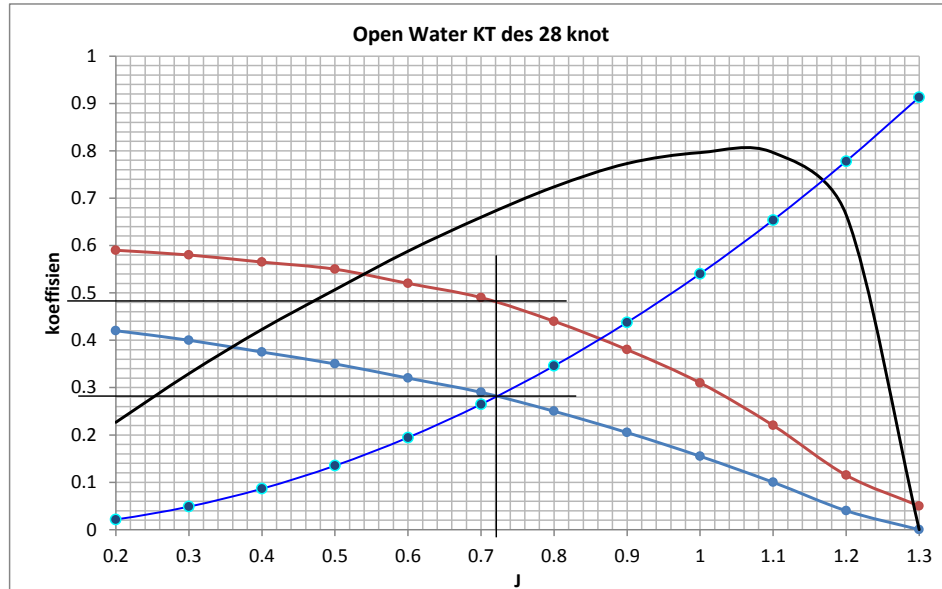
Gambar4.8. Gambar open water propeller Symmetrical blade 4 daun

Selanjutnya dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat di buat KT desain dari kecepatan 25 knot sampai 30 knot dan di plotkan ke gambar open water digram hasil perhitungan pada setiap kecepatan dan dilakukan perhitungan Engine Matching Propeller. Dengan menggunakan (6) ,(7) dan (8) akan di buat grafik KT desainya

Tabel 4.6. Hasil perhitungan KT desain

		25 Knot	26 Knot	27 Knot	28 Knot	29 Knot	30 Knot
J	$J^2$	KT	KT	KT	KT	KT	KT
0.1	0.01	0.0059	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050
0.2	0.04	0.0237	0.0232	0.0223	0.0216	0.0209	0.0202
0.3	0.09	0.0534	0.0521	0.0503	0.0486	0.0470	0.0454
0.4	0.16	0.0949	0.0927	0.0893	0.0864	0.0836	0.0808
0.5	0.25	0.1482	0.1448	0.1396	0.1351	0.1306	0.1262
0.6	0.36	0.2134	0.2085	0.2010	0.1945	0.1880	0.1818
0.7	0.49	0.2905	0.2838	0.2736	0.2647	0.2559	0.2474
0.8	0.64	0.3794	0.3706	0.3574	0.3458	0.3342	0.3232
0.9	0.81	0.4802	0.4691	0.4523	0.4376	0.4230	0.4090
1	1	0.5929	0.5791	0.5584	0.5403	0.5222	0.5050
1.1	1.21	0.7174	0.7007	0.6757	0.6538	0.6319	0.6110
1.2	1.44	0.8537	0.8339	0.8041	0.7780	0.7520	0.7272
1.3	1.69	1.0020	0.9786	0.9437	0.9131	0.8825	0.8534

Dengan cara yang sama, dari data KT desain yang telah di buat maka, dapat di buat grafik pada tiap-tiap kecepatan, lalu diplotkan ke diagram open water yang telah dibuat. Untuk di buat perhitungan engine matching propellernya.



Gambar4.9. Gambar plot KT desain pada 28 knot propeller symetrical balde 4 daun

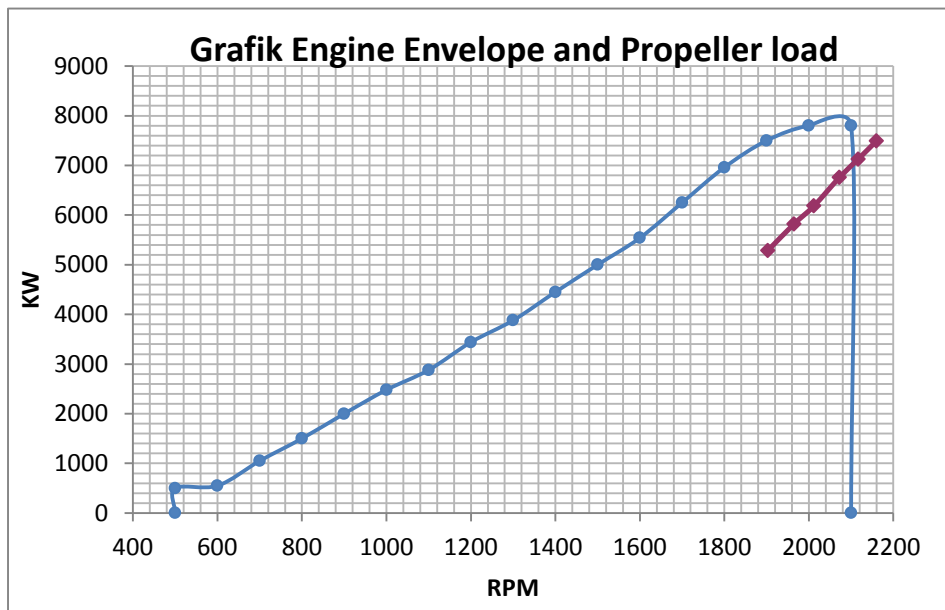
Dari hasil gambar diatas maka, kita bisa menentukan nilai J, KT, dan 10KQ pada perpotongan KT desainya. Pada plotting kecepatan 28 knot di hasilkan nilai J 0.72, nilai KT 0.28, dan nilai 10KQ 0.48. dengan melakukan hal yang sama pada setiap kecepatan maka dapat dibuat tabel sebagai berikut.

Tabel 4.7. Hasil Engine Matching Propeller Synmetrical Blade 4 Daun

VS	Va	J	Nprop	N engine	KQ	Q	KT	T	DHP	SHP
Knots			Rpm	Rpm		Nm		KN	KW	KW
25	12.30	0.7	602	1903	0.0485	82.20	0.29	280.85	5181	5287
26	12.79	0.705	622	1965	0.0485	87.65	0.28	289.15	5705	5821
27	13.28	0.715	637	2012	0.048	90.95	0.28	303.16	6061	6185
28	13.77	0.72	656	2072	0.048	96.45	0.28	321.52	6620	6755
29	14.26	0.73	670	2117	0.0475	99.60	0.29	347.49	6983	7126
30	14.75	0.74	684	2160	0.047	102.64	0.29	361.88	7344	7494

Setelah di cari nilai KT,10KQ dan J, makadapat di hasilkan putran proller pada kecepatan 28 knot sebesar 656 rpm, Torsinya sebesar 96.45 KNm dan berturut turut DHP

dan SHP sebesar 6620 KW dan 6755. KW. Sehingga dari grafik engine Envelope pada gambar 4.2 dapat di buat grafik engine matching berdasarkan load propellernya.

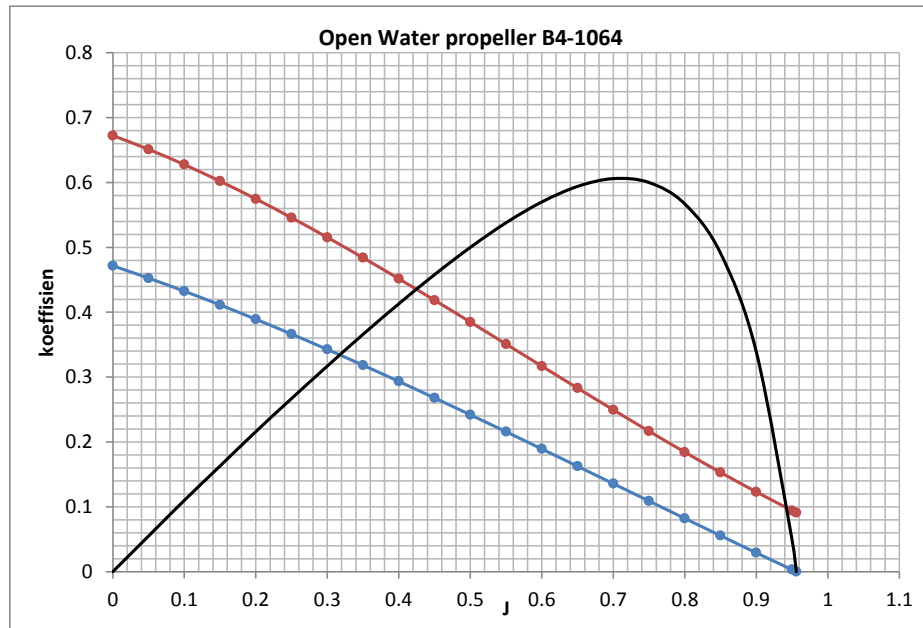


Gambar4.10. Gambar Engine Matching propeller symmetrical blade 4 daun

Setelah melakukan variasi desain propeller dengan perbedaan jumlah daun pada propeller symmetrical blade, maka kami sebagai penulis mencoba variasi jenis propellernya dimana propeller yang akan di gunakan adalah propeller type B-series. Pemilihan **propeller type B-series** ini dihitung sebelumnya dengan menggunakan pendekatan program **MARIN DESP** dimana dengan program tersebut dihasilkan ukuran utama propeller tipe B-series yang akan di gunakan pada kapal patroli 60m. Adapun ukuran utama yang di hasilkan dengan menggunakan propeller B-series adalah:

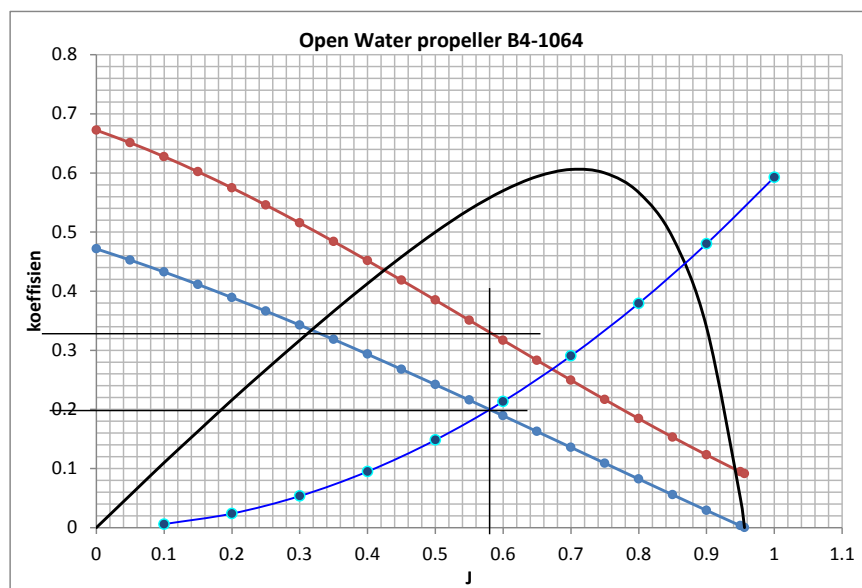
- Diameter model propeller : 1.75m
- P/D : 0.939
- Ae/Ao : 1.064
- Jumlah Daun : 4 daun

Dengan cara yang sama pada perhitungan variasi propeller symmetrical blade, penulis mencoba menghitung engine matching propeller untuk propeller tipe ini. Dari data ukuran utama tersebut dapat dibuat diagram open water dengan menggunakan program **MARIN PULS**, sehingga di hasilkan garfik berikut ini.



Gambar4.11. Gambar open water proppeller B-series

Selanjutnya dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat di buat KT desain dari kecepatan 25 knot sampai 30 knot dan di plotkan ke gambar open water digram hasil perhitungan pada setiap kecepatan dan dilakukan perhitungan Engine Matching Propeller. Dengan menggunakan (6) ,(7) dan (8) akan di buat grafik KT desainnya. Dengan cara yang sama, dari data KT desain yang telah di buat maka, dapat di buat grafik pada tiap-tiap kecepatan, lalu diplotkan ke diagram open water yang telah dibuat. Untuk di buat perhitungan engine matching propellernya.



Gambar4.12. Gambar plot KT desain pada 28 knot propeller B-series

Dari hasil gambar diatas maka, kita bisa menentukan nilai J, KT, dan 10KQ pada perpotongan KT desainya. Pada plotting kecepatan 28 knot di hasilkan nilai J 0.595, nilai KT 0.19, dan nilai 10KQ 0.32. dengan melakukan hal yang sama pada setiap kecepatan maka dapat dibuat tabel sebagai berikut.

Tabel 4.8. Hasil Engine Matching Propeller B-series

VS	Va	J	Nprop	N engine	KQ	Q	KT	T	DHP	SHP
Knots			Rpm	Rpm		KNm		KN	KW	KW
25	12.30	0.58	727	2297	0.033	81.46	0.200	282.13	6197	6323.7
26	12.79	0.582	753	2380	0.033	87.51	0.198	300.03	6899	7040.2
27	13.28	0.588	774	2447	0.0322	90.21	0.193	308.97	7311	7460.0
28	13.77	0.595	794	2507	0.032	94.16	0.190	319.47	7820	7979.9
29	14.26	0.6	815	2575	0.0317	98.40	0.184	326.37	8394	8564.9
30	14.75	0.613	825	2608	0.0315	100.25	0.182	330.97	8658	8835.2

Setelah di cari nilai KT,10KQ dan J, makadapat di hasilkan putran proller pada kecepatan 28 knot sebesar 794 rpm, Torsinya sebesar 94.16 KNm dan berturut turut DHP dan SHP sebesar 7820 KW dan 7979. KW. Sehingga dari grafik engine Envelope pada gambar 4.2 dapat di buat grafik engine matching berdasarkan load propellernya. Tanpa dibuat grafik engine matching propellernya sddah dapat di buat kesimpulan bahwa RPM propeller tidak sesuai dengan gear box yang telah di ditetapkan. Bahwa ratio gear box adalah 1:3.16. sehingga propller type B-series ini di rasa kurang cocok bila di gunakan sebagai propulsor kapal patroli 60m. Karena pada dasarnya penggunaan tipe propeller kapal ini di gunakan untuk kapal-kapal niaga dimana froud number yang di gunakan di bawah 0.4. selain dari RPM propellernya mesin yang di butuhkan dengan tipe propeller ini dianggap terlalu besar. Dengan kata lain efisiensi propeller yang di hasilkan, kurang sehingga meyebabkan kebutuhan mesin menjadi besar.

Setelah melakukan perhitungan numerik dengan menggunakan ketiga tipe propeller di atas maka dapat dibuat tabel pembanding untuk menentukan propeller mana yang akan di buat modelnya. Kriteria pemilihan propeller yang akan di buat berdasar kan putaran propeller, torsi yang akan di hasilkan, serta besarnya SHP dalam skala numerik.

Berikut ini tabel perbandingan dari ketiga variasi propeller di atas,

Tabel 4.9. Perbandingan Variasi propeller berdasarkan perhitungan numerik

Propeller Symmetrical 4 daun					
VS	Nprop	N engine	Q	T	SHP
Knots	Rpm	Rpm	Nm	KN	KW
25	602.2149	1902.999	82.20	280.85	5286.767
26	621.8616	1965.083	87.65	289.15	5821.26
27	636.7475	2012.122	90.95	303.16	6184.961
28	655.7451	2072.155	96.45	321.52	6755.234
29	669.861	2116.761	99.60	347.49	7125.93
30	683.5953	2160.161	102.64	361.88	7493.574
Propeller Symmetrical 5 daun					
VS	Nprop	N engine	Q	Th	SHP
Knots	Rpm	Rpm	Nm	KN	KW
25	602.2149	1902.999	83.89	280.85	5395.773
26	621.8616	1965.083	88.55	299.47	5881.273
27	632.3257	1998.149	91.56	298.96	6183.188
28	655.2901	2070.717	97.32	321.07	6811.401
29	669.861	2116.761	100.65	335.51	7200.94
30	683.5953	2160.161	104.82	349.41	7653.012
Propeller B-series					
VS	Nprop	N engine	Q	T	SHP
Knots	Rpm	Rpm	Nm	KN	KW
25	727	2297	81.46	282.1283	6323.7
26	753	2380	87.51	300.0258	7040.2
27	774	2447	90.21	308.9746	7460.0
28	794	2507	94.16	319.4687	7979.9
29	815	2575	98.40	326.3653	8564.9
30	825	2608	100.25	330.9677	8835.2

Berdasarkan variasi tabel di atas dipilih tipe propepeller Symetrical blade dengan 4 daun untuk dibuat model propellernya, karena berdasarkan RPM propeller dan engine (SHP) masuk untuk rencana mesin yang akan terinstal (2 X 3900KW). Jika di lihat dari parameter di atas untuk propeller symetrical blade 4 dan 5 daun tidak terlalu jauh perbedaanya. Namun dari segi torsi, perhitungan propeller symmetrical blade 4 daun sedikit lebih unggul daripada yang 5 daun. Karena nilai torsi pada kecepatan 28 knot untuk 4 daun adalah 96.45 KN sedangkan pada 5 daun adalah 97.32 KN. Karena perbedaan torsi akan berpengaruh pula harga DHP dan SHP mesin yang akan di gunaka

untuk harga DHP kapal menggunakan persamaan (9), sedangkan untuk harga SHP nya cukup di bagi 0.95, dengan asumsi loesses mechanical yang di akibatkan oleh gesekan terhadap gearbox dan stren tube sebesar 5%.

$$\text{DHP} : 2\pi Qn \dots\dots\dots (9)$$

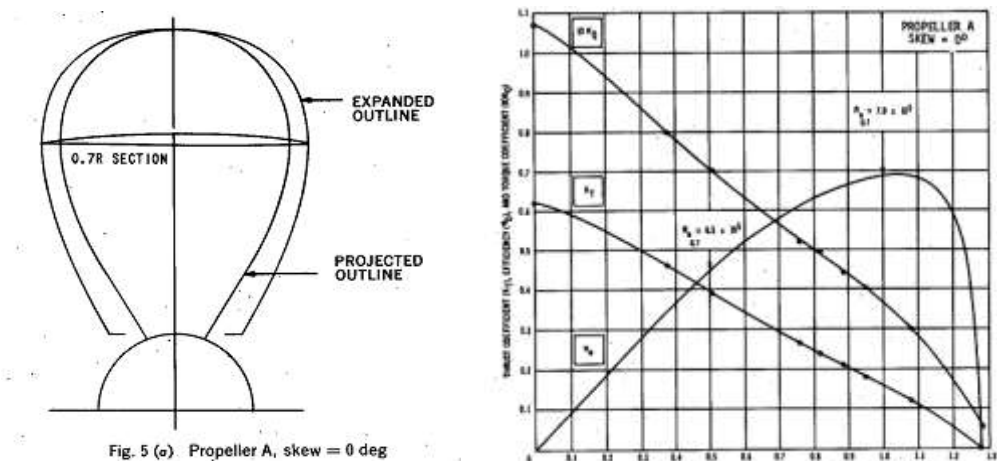
Dimana,

Q :torsis propeller (Nm)

n :putaran propeller (Hz)

DHP :delevery horse power (KW)

Sebelum digambar untuk di buat model propeller bisa di ketahui bahwa perhitungan propeller symmetrical blade yang di hasilkan dengan menggunakan program MaTLAB dianggap terlalu optimis. Karena di ketahui effisiensi maksimum adalah 0.78 sedangkan effisiensi untuk advance koefisien kerja propeller J 0.9 adalah 0.746. untuk itu diperlukan suatu pembanding dengan menggunakan jenis propeller yang hampir berdekatan, bisa dari jenis propeller B-series dengan sarat mempunyai skew angel 0° (unskewed propeller) sehingga bisa dikatakan simestris secara blade namun dengan bentuk foil yang berbeda dari perhitungan hasil MaTLAB.



Gambar4.13. Gambar Unskewed Propeller B-series (Highly Skewed Propeller-R.A. Cumming)

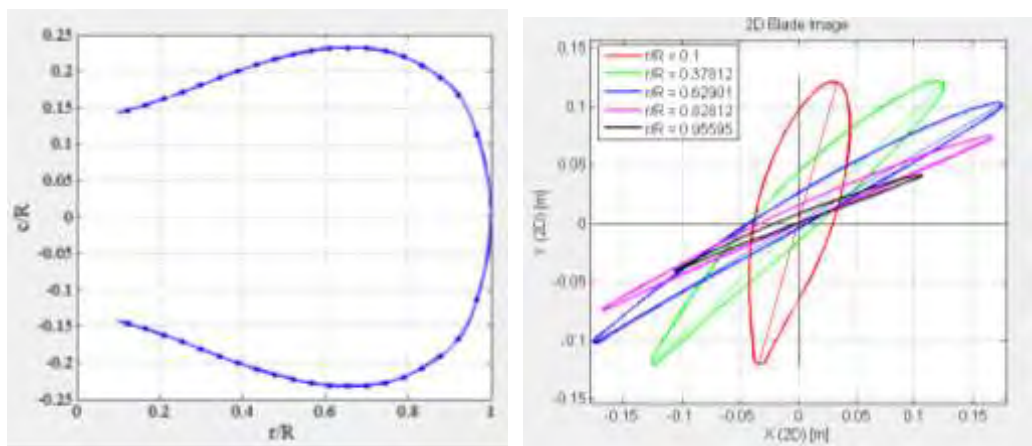
Pendekatan propeller untuk memvalidasi perhitungan symmetrical blade dapat di gunakan dengan menggunakan unsekwed propeller B-series yang terdekat. Karena di lihat dari bentuk outline propellernya propeller unskewed mempunyai sisi simestris pada

*trailing edge* dan *leading edge* nya. Jadi bisa di gunakan sebagai referensi untuk membuktikan efisiensi yang di hasilkan dari perhitunga numerik menggunakan MatLAB. Adapun propeller yang di gunakan mempunyai ukuran utama sebagai berikut,

- Mean P/D : 1.20
- Ae/Ao : 0.75
- Jumlah Daun : 4 daun

Dengan menggunakan propeller unskewed tersebut dapat di ketahui bahwa efisiensi maksimum yang di hasilkan hanya di kisaran 0.69 pada J 1.05 sedangkan dengan menggunakan perhitungan MatLAB 0.78 pada J 1.06. dengan melihat selisih nilai efisiensi yang begitu besar yaitu 0.09, maka sebagai pembuktian dasar dari perhitungan tersebut di perlukan suatu pendekatan experimental berupa uji model propeller. Tentunya pembuatan model propeller tersebut berdasarkan variasi perhitungan propeller yang telah di buat pada tabel 4.9

Setelah di pilih type propeller berdasarkan tabel variasi 4.8, makadapat dibuat gambar propeller berdasarkan ukuran utama yang telah di tentukan. Untuk ukurann utama propller di tentukan dari perhitungan desain program Matlab yang digunakan.



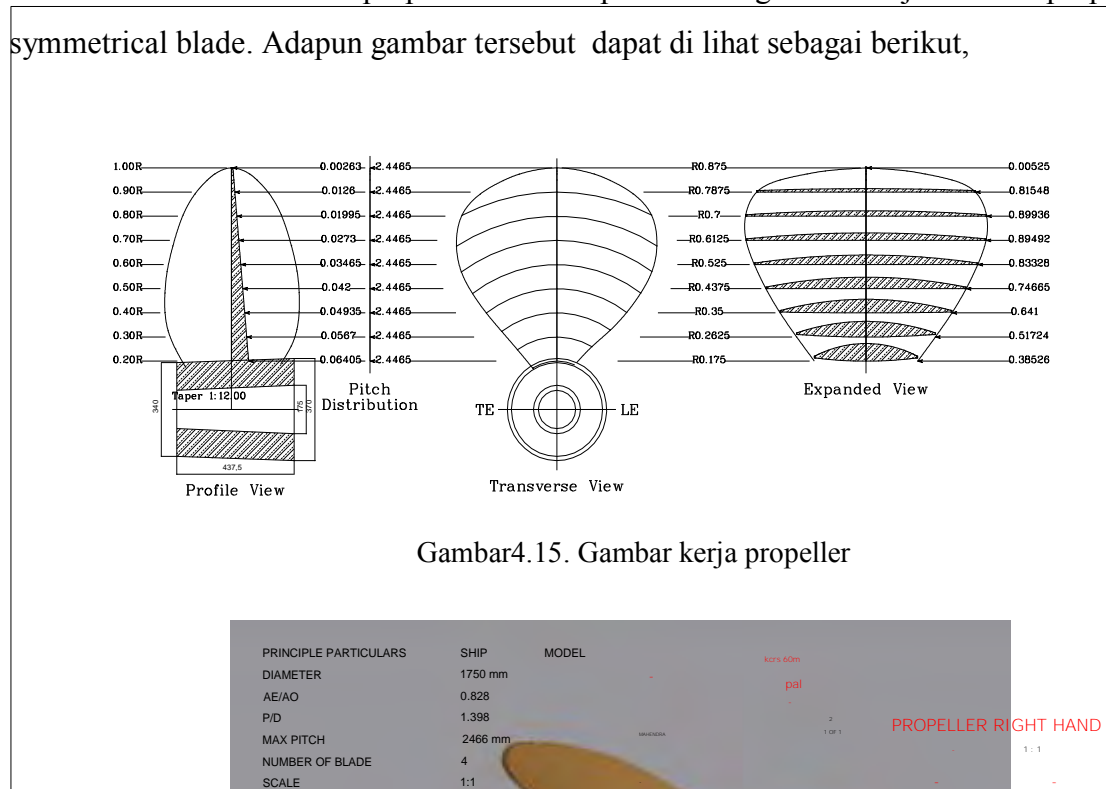
Gambar4.14. Gambar penentuan BAR dan mean picth propeller

Dari gambar di atas maka dapat di tentukan ukuran utama propeller symetrical blade untuk di buat gambar kerja propeller dan gambar 3D propeller yang akan di gunakan sebagai dasar pembuatan model propeller dengan menggunakan CNC 5 axis. Adapun ukuran utama propeller dapat lihat sebagai berikut.

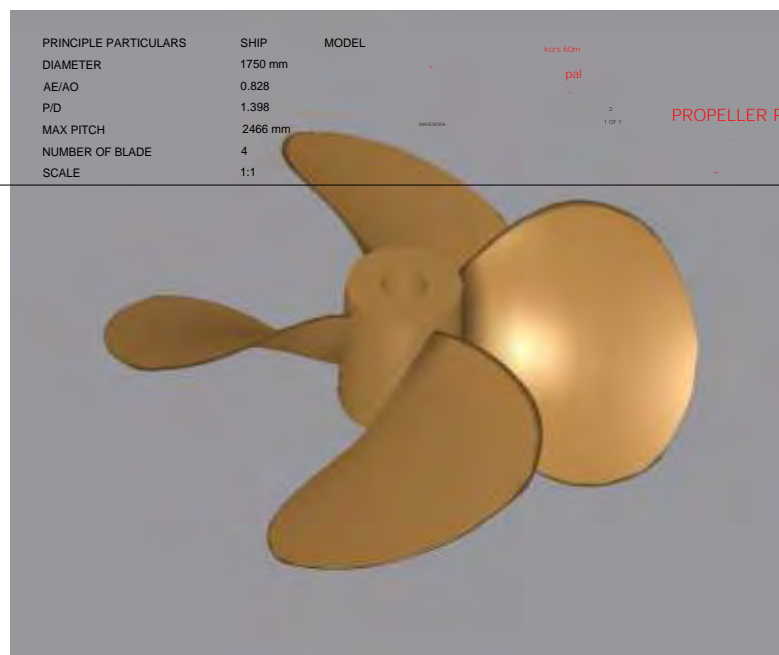


- Diameter propeller : 1.75m
- Mean P/D : 1.38
- Ae/Ao : 0.828
- Jumlah Daun : 4 daun

Dari ukuran utama propeller maka dapat di buat gambar kerja dan 3D propeller symmetrical blade. Adapun gambar tersebut dapat di lihat sebagai berikut,



Gambar4.15. Gambar kerja propeller



Gambar4.16. Gambar 3D proppeller Symmetrical balede.

#### 4.3 Pembuatan Model Propeller

Pembuatan model propeller symmetrical blade di laksanakan salah satu balai BPPT di serpong, Jawa Barat dengan menggunakan mesin CNC 5 axis, . Sebelum di kirim model propeller harus di skalakan dengan model kapal yang telah di uji resistance nya. skala model propeller tersebut adalah 1:15.03.setelah selesai di skalakan maka dapat dibuat model propellernya dengan CNC 5 Axis. Hasil pembuatan propeller model tersebut dapat di lihat pada gambar berikut ini.



Foto 4.1. Foto CNC propeller Symmetrical balde

Hasil pembuatan model propeller, selanjutnya di kirim ke BTH surabaya untuk dilakukan balancing model propeller dan pengujian open water test.

#### 4.4 Pengujian Open Water Propeller

Sebelum di lakukan pengujian open water propeller ada kalanya di lakukan persiapan peralatan instrumentasi, persiapan model propeller dan persiapan kolam. Persiapan instrumentasi biasanya di laksanakan dengan mempersiapkan perangkat instrumentasi berupa alat ukur thrust, torsi dan rpm, serta tidak lupa pula mengkalibrasi alat ukur Open Water Dynamometer R56. Biasanya persiapan instrumentasi dilakukan secara parallel dengan persiapan kolam. Setelah dilakukan persiapan keduanya, maka perlu di lakukan persiapan model. Dimana model dipasang pada alat ukur Open Water Dynamometer R56 dan di lakukan percobaan putaran propeller sesuai dengan rpm yang akan di ujikan.



Foto 4.2. Foto setting propeller dan rpm di koalm Towing Tank BTH

Setelah semuanya siap maka, perlu di lakukan persiapan pengujian diantaranya memanaskan carriage Towing Tank dan pengukuran suhu kolam. Setelah itu di lakukan pengujian model propeller symetrical blade berdasarkan tabel uji yang telah di buat, yaitu meliputi penentan nilai  $J$ , Rps dan kecepatan carriage yang kesemuanya tersebut dalam model dengan skala 1:15.03. adapun foto pengujian open water di kolam Towink Tank BTH dapat dilihat pada foto berikut.



Foto 4.3. Foto Pengujian Model pada  $J$  0.9 dan proses pengambilan data

Setelah semua rangkaian pengujian di laksanakan maka dapat di buat tabel hasil pengujian open water dengan skala model. Propeller model ini di uji pada  $J$  0.1 sampai  $J$  1.2 dimana range kecepatan carriage berkisar 0.414 m/s sampai 4.965 m/s. dan putaran propeller di buat konstan yaitu 2132 rpm atau 35.538 rps. Hasil pengujian open water di Towing Tank dapat di lihat pada tabel berikut,

### Kondisi pengujian dan hasil pengujian

- Diameter model propeller : 11.64 cm
- RPM model : 2132 rpm (35.538 rps)
- Suhu kolam : 28.2 C°
- Kedalam propeller model : 15.74 cm

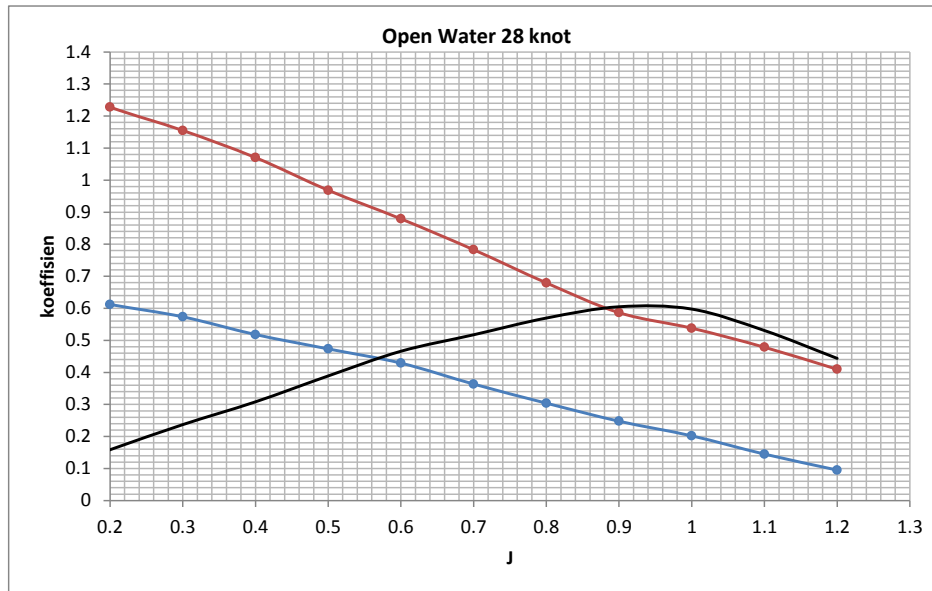
Tabel 4.10. Hasil Uji model propeller di Towing Tank BTH

No	Speed Carriage	Rps	J	Speed	Rps	Thrust	Torque
	(m/s)			(m/s)		(N)	(Nm)
1	0.414	35.538	0.1	0.414	35.592	152.561	3.574
2	0.828	35.538	0.2	0.829	35.753	143.786	3.359
3	1.241	35.538	0.3	1.244	36.020	136.727	3.207
4	1.655	35.538	0.4	1.659	35.772	121.848	2.931
5	2.069	35.538	0.5	2.073	35.646	110.522	2.633
6	2.483	35.538	0.6	2.491	35.405	98.817	2.358
7	2.896	35.538	0.7	2.904	35.442	83.919	2.104
8	3.310	35.538	0.8	3.322	35.737	71.336	1.857
9	3.724	35.538	0.9	3.740	35.735	58.105	1.602
10	4.138	35.538	1.0	4.139	35.735	47.400	1.470
11	4.552	35.538	1.1	4.557	35.653	33.878	1.301
12	4.965	35.538	1.2	4.960	35.660	22.243	1.115

Tabel 4.11. Hasil KT, KQ, J pengujian.

J	KT	10KQ	Effisiensi
0.100	0.655	1.318	0.079
0.200	0.612	1.228	0.159
0.300	0.573	1.155	0.237
0.400	0.518	1.070	0.308
0.500	0.473	0.968	0.389
0.600	0.429	0.879	0.466
0.700	0.364	0.783	0.517
0.800	0.304	0.679	0.570
0.900	0.248	0.586	0.605
1.000	0.202	0.538	0.598
1.100	0.145	0.478	0.531
1.200	0.095	0.410	0.444

Dari tabel 4.11 maka dapat di buat diagram open water-nya yang selanjutnya akan di buat analisa engine matching propellernya.



Gambar4.17. Gambar grafik diagram open water hasil pengujian.

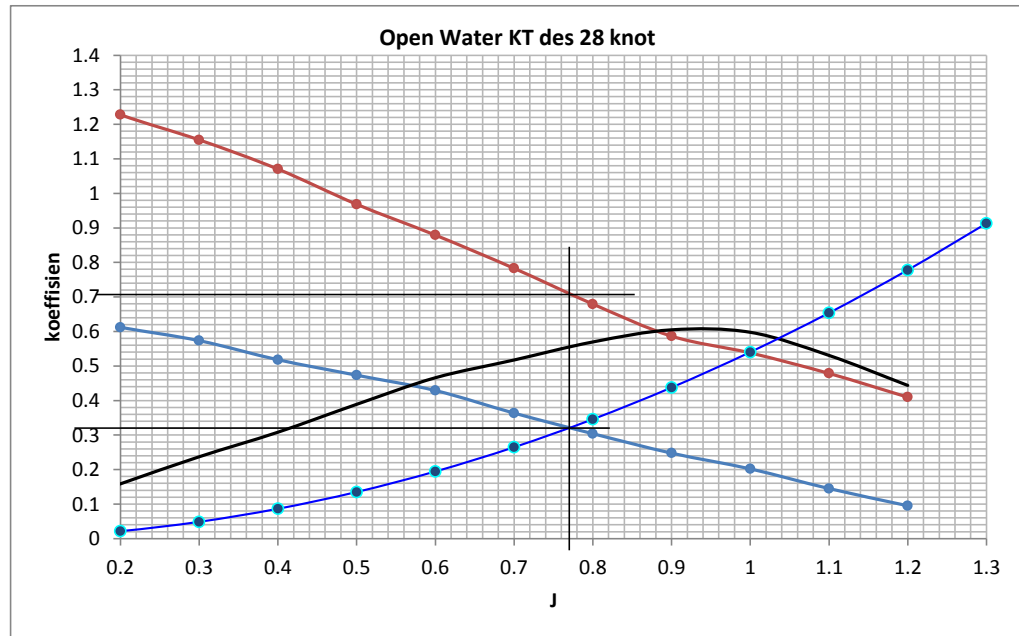
Dari grafik di atas hasil open water diagram tidak mencapai nilai 0. Hal tersebut di karenakan keterbatasan kecepatan carriage di Towing Tank. Karena pada J 1.2 kecepatan carriage sebesar 4.965 m/s, karena hal tersebut jika kecepatan carriage di paksakan samapi lebih dari 5 m/s di takutkan getar dan mengganggu hasil pengujian.

#### 4.5 Analisa Hasil Pengujian

Setelah di lakukan pengujian open water dan di dapat hasil pengujiannya maka perlu di lakukan analisa pengujian engine matching propellernya. Analisa pengujian **pertama** menggunakan hasil data tahanan kapal pada sarat full load (2.57m), sama dengan data pada waktu perhitungan dalam menentukan variasi desai propeller yang dipilih.

. Dimana sama seperti pada langkah pemilihan perhitungan propeller pada setiap variasi yang ada, dapat di buat KT desain dari kecepatan 25 knot sampai 30 knot dan di plotkan ke gambar open water digram hasil perhitungan pada setiap kecepatan dan dilakukan perhitungan Engine Matching Propeller. Dengan menggunakan (6) ,(7) dan (8) akan di buat grafik KT desainya. Dengan cara yang sama, dari data KT desain yang telah

di buat maka, dapat di buat grafik pada tiap-tiap kecepatan, lalu diplotkan ke diagram open water yang telah dibuat. Untuk di buat perhitungan engine matching propellernya.



Gambar4.18. Gambar plot KT desain pada 28 knot propelle uji (sarat 2.57m)

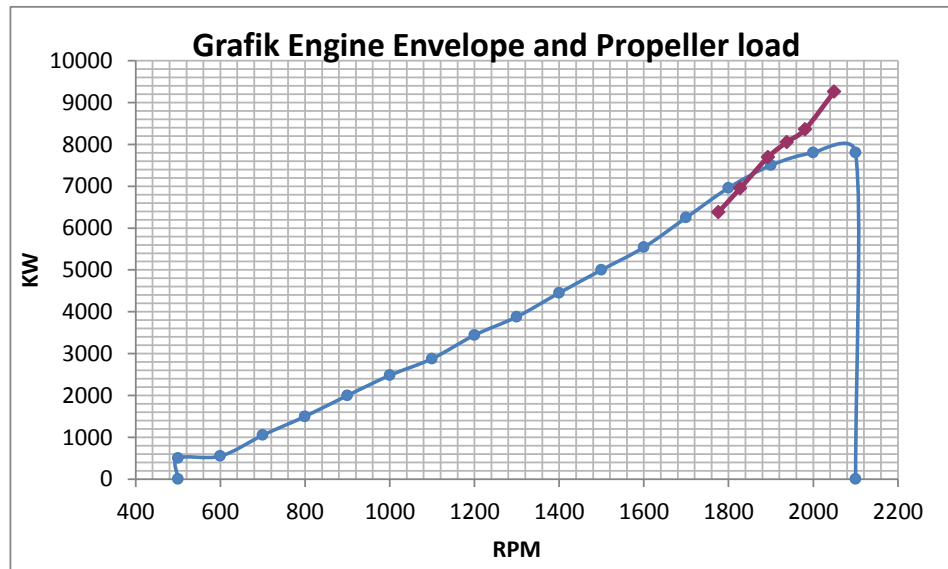
Dari hasil gambar diatas maka, kita bisa menentukan nilai J, KT, dan 10KQ pada perpotongan KT desainnya. Pada plotting kecepatan 28 knot di hasilkan nilai J 0.77, nilai KT 0.32, dan nilai 10KQ 0.7. dengan melakukan hal yang sama pada setiap kecepatan maka dapat dibuat tabel sebagai berikut.

Tabel 4.12. Hasil Engine Matching Propeller uji (sarat 2.57m)

VS	Va	J	Nprop	N engine	KQ	Q	KT	Th	DHP	SHP
Knots			Rpm	Rpm		KNm		KN	KW	KW
25	12.30	0.75	562	1776	0.072	106.30	0.33	278.40	6253	6381
26	12.79	0.758	578	1828	0.072	112.56	0.32	285.86	6814	6953
27	13.28	0.76	599	1893	0.0717	120.24	0.32	306.65	7539	7693
28	13.77	0.77	613	1938	0.07	122.99	0.32	321.28	7893	8054
29	14.26	0.78	627	1981	0.068	124.90	0.32	335.85	8195	8363
30	14.75	0.78	649	2049	0.068	133.66	0.3	336.95	9073	9258

Setelah di cari nilai KT,10KQ dan J, makadapat di hasilkan putran proller pada kecepatan 28 knot sebesar 599 rpm, Torsinya sebesar 122.99 KNm dan berturut turut

DHP dan SHP sebesar 78.93 KW dan 8054. KW. Sehingga dari grafik engine Envelope pada gambar 4.2 dapat di buat grafik engine matching berdasarkan load propellernya.



Gambar4.19. Gambar Engine Matching propeller uji (sarat 2.57m)

Setelah dilakukan Engine propeller Matching ternyata terlihat penurunan efisiensi setelah di buat propeller modelnya. Dari tabel 4.12 terlihat bahwapada kecepatan 28 knot, putaran yang di hasilkan oleh propeller load masih memenuhi jika dikalikan gearbox yang akan di pasang pada kapal patroli yaitu 1938 rpm. Sedangkan rpm mesin yang tersedia adalah 2100 rpm. Namun secara torsi yang di hasilkan jauh terlihat lebih besar daripada perhitungan yaitu, 122.99 KN. Hal ini menyebabkan harga DHP dan SHP berturut turut melampaui dari mesin yang akan di instal yaitu sebesar 2X3900 KW (7800 KW). Namun berdasarkan main engine yang akan di pasang diperkirakan kecepatan kapal yang mampu di operasikan pada kondisi full load antara 27 knot sampai 28 knot. Karena pada kondisi tersebut pada kecepatan 27 knot dengan menggunakan propeller ini di hasilkan nilai SHP 7693KW. Yang mana nilai tersebut masih di bawah dari total mesin yang akan terinstal di kapal patroli 60m.

Untuk analisa yang **kedua**, menggunakan data tahanan kapal pada saat kondisi halfload (2.4m). dimana data tahanan kapal di hasilkan dari hasil pengujian kapal patroli 60m Towink tank BTH.

Tabel 4.13. Data tahahan kapal patroli 60m pada sarat 2.4m

VS	Vm	Rm	Ctm	Cfm	Cres	CFs	CTS	FD	RS	PE
Knots	m/s	N	10*5	10*5	10*5	10*5	10*5	N	KN	KW
25	3.317	78.95	752	279	412	157	666	9.07	243	3128
26	3.450	83.34	734	278	396	156	649	9.66	256	3429
27	3.583	87.78	717	276	381	155	633	10.27	270	3747
28	3.716	92.41	702	274	368	155	619	10.89	284	4086
29	3.848	96.92	686	273	354	154	605	11.52	297	4434
30	3.981	101.52	672	271	342	153	591	12.17	311	4799

Sama seperti cara analisa yang pertama yaitu perlu di buat KT desain propeller dari kecepatan 25 knot sampai 30 knot. Karena adanya perubahan sarat pada kapal, tentunya ada perubahan data KT desain yng baru. Kareana dalam pembuatan grafik KT desain sangat di pengaruhi oleh nilai CTS (koefisien resistance kapal) dan luasan basah yang tercelup pada sarat 2.4m.

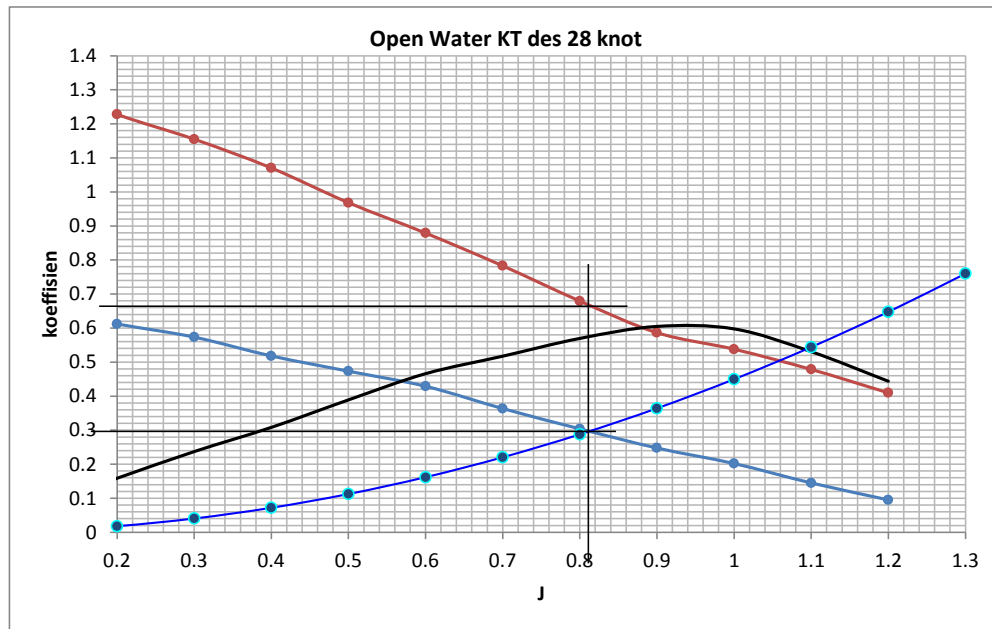
Dengan menggunakan (6) ,(7) dan (8) akan di buat grafik KT desainya. Dengan cara yang sama, dari data KT desain yang telah di buat maka, dapat di buat grafik pada tiap-tiap kecepatan, lalu diplotkan ke diagram open water yang telah dibuat. Untuk di buat perhitungan engine matching propellernya.

Tabel 4.14. Hasil perhitungan KT desain sarat 2.4m

		25 Knot	26 Knot	27 Knot	28 Knot	29 Knot	30 Knot
J	J <sup>2</sup>	KT	KT	KT	KT	KT	KT
0.1	0.01	0.0048	0.0047	0.0046	0.0045	0.0044	0.0043
0.2	0.04	0.0194	0.0189	0.0184	0.0180	0.0176	0.0172
0.3	0.09	0.0435	0.0424	0.0414	0.0405	0.0396	0.0386
0.4	0.16	0.0774	0.0754	0.0736	0.0719	0.0703	0.0687
0.5	0.25	0.1209	0.1179	0.1150	0.1124	0.1099	0.1073
0.6	0.36	0.1742	0.1697	0.1655	0.1619	0.1582	0.1545
0.7	0.49	0.2371	0.2310	0.2253	0.2203	0.2153	0.2104
0.8	0.64	0.3096	0.3017	0.2943	0.2878	0.2813	0.2748
0.9	0.81	0.3919	0.3819	0.3724	0.3642	0.3560	0.3477
1	1	0.4838	0.4714	0.4598	0.4496	0.4395	0.4293
1.1	1.21	0.5854	0.5704	0.5564	0.5441	0.5318	0.5195
1.2	1.44	0.6967	0.6789	0.6621	0.6475	0.6328	0.6182
1.3	1.69	0.8176	0.7967	0.7771	0.7599	0.7427	0.7255



Dari data KT desain yang telah di buat maka, dapat di buat grafik pada tiap-tiap kecepatan, lalu diplotkan ke diagram open water yang telah dibuat. Untuk di buat perhitungan engine matching propellernya.



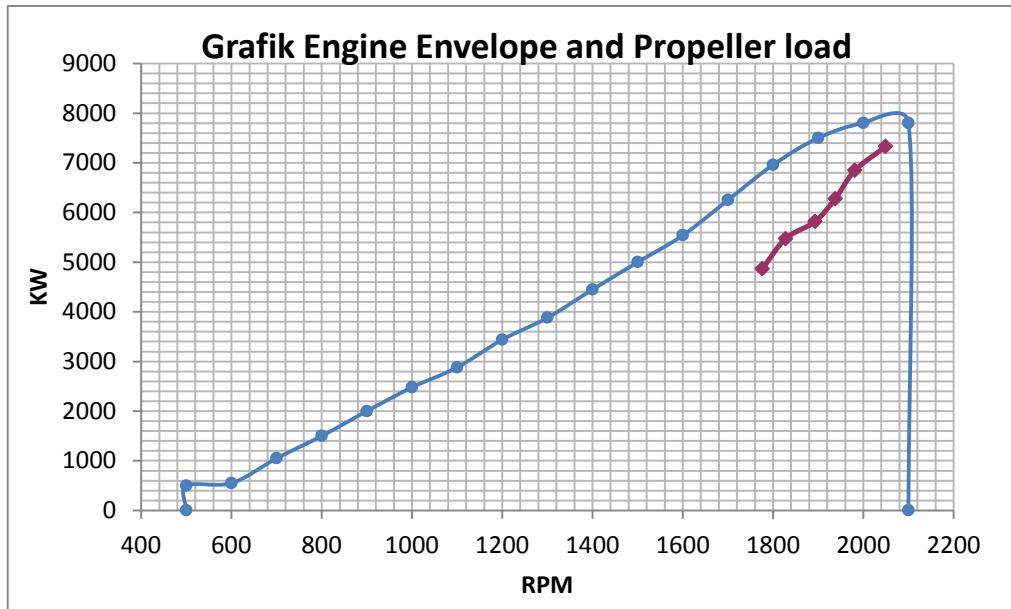
Gambar4.20. Gambar plot KT desain sarat 2.4m pada 28 knot propelle uji

Dari hasil gambar diatas maka, kita bisa menentukan nilai J, KT, dan 10KQ pada perpotongan KT desainya. Pada plotting kecepatan 28 knot di hasilkan nilai J 0.815, nilai KT 0.30, dan nilai 10KQ 0.66. dengan melakukan hal yang sama pada setiap kecepatan maka dapat dibuat tabel sebagai berikut.

Tabel 4.15. Hasil Engine Matching Propeller uji pada sarat 2.4m

VS	Va	J	Nprop	N engine	KQ	Q	KT	Th	DHP	SHP
Knots			Rpm	Rpm		KNm		KN	KW	KW
25	12.30	0.8	527	1665	0.068	88.23	0.300	248.97	4866	4966
26	12.79	0.8	548	1732	0.068	95.43	0.300	269.29	5474	5586
27	13.28	0.81	562	1776	0.067	98.92	0.300	283.28	5819	5938
28	13.77	0.815	579	1831	0.066	103.51	0.300	300.92	6276	6404
29	14.26	0.82	596	1884	0.066	109.68	0.295	313.56	6846	6986
30	14.75	0.825	613	1938	0.065	114.20	0.295	331.50	7329	7479

Setelah di cari nilai  $KT$ ,  $10KQ$  dan  $J$ , makadapat di hasilkan putran proller pada kecepatan 28 knot sebesar 579 rpm, Torsinya sebesar 103.51 KNm dan berturut turut DHP dan SHP sebesar 6276 KW dan 6404. KW. Sehingga dari grafik engine Envelope pada gambar 4.2 dapat di buat grafik engine matching berdasarkan load propellernya.



Gambar4.21. Gambar Engine Matching propeller uji (sarat 2.4m)

Dengan adanya penurunan sarat kapal menjadi 2.4m kemampuan propeller dalam mendorong kapal pada kecepatan 28 knot mampu terakomodir dengan mesin yang tersedia. Hal tersebut dapat di lihat dari gambar 4.21 dimana menunjukan bahwa sampai pada kecepatan 30 knot propeller masih mampu mendorong kapal. Jika di lihat dari harga torsi maksimum pada kecepatan 30 knot, Hanya di kisaran 114.2 kNm dengan harga SHP yang dihasilkan adalah 7479 KW, Dan putaran propeller pada 613 rpm. Tentu saja dengan data yang di sajikan tersebut mesin yang akan di instal sebesar 2 X 3900 Kw. Akan mampu mendorong kapal tersebut pada kecepatan 30 knot. Jika kita bisa tarik ke belakang bahwa, pada sarat kapal full load 2.57m hanya mampu mendorong kapal di antara 27 knot lebih dan tidak sampai 28 knot. Hal tersebut bisa menjadi bukti bahwa hasil tahanan kapal pada setiap kecepatan kapal adalah kurva eksponensial. Sehingga jika ada perbedaan sedikit pada tiap kondisi sarat dan kecepatan kapal, maka kebutuhan mesin yang terinstall di kapal bisa terpaut sangat jauh.

Namun dalam penelitian ini pemilihan mesin sudah di tentukan terlebih dahulu dengan kondisi 0% sea margin, berarti faktor cuaca kurang di perhitungkan. Namun dengan adanya faktor sea margin sebesar 15% di hasilkan power sebesar 6630 kW (kondisi half load) dari 7800 KW. Sehingga dengan ada penambahan faktor sea margin ini, propeller kapal mamppu mendorong kapal dengan kecepatan 28knot pada kondisi half laod (2.4m). karena pada tabel 4.15 cukup di butuhkan 6404 kW pada kecepatan 28 knot.

#### 4.6 Analisa Kavitasi Propeller

Analisa kavitasi propeller cukup dilaksanakan dengan perhitungan numerik di karenakean persiapan untuk melakukan uji kavitasi di Cavitation Tunnel Balai Teknologi Hidrodinamika cukup lama karena harus membuat Dummy model kapal untuk mendapatkan nilai wake fraction yang sama. Untuk itu ada tidaknya kavitasi yang terjadi pada propeller dapat di lakukan dengan menggunakan pendekatan peritungan diagram Burrill. Untuk perhitungan kavitasi propeller dapat di lihat sebagai berikut.

##### Input Data

$$\begin{aligned}
 A_E/A_0 &= 0.83 \\
 n \text{ (rpm)} &= 550.00 \quad \text{rpm} \\
 n \text{ (rps)} &= 9.17 \quad \text{rps} \\
 D &= 1.75 \quad \text{m} \\
 P/D &= 1.389 \\
 Z &= 4.00 \\
 T \text{ (thrust)} &= 160.00 \quad \text{kN} \\
 g &= 9.81 \quad \text{m/s}^2 \\
 V_a &= 13.77 \quad \text{m/s} \\
 E &= 0.045 T + 0.5 D \\
 &= 0.991 \\
 h_{\text{gell}} &= 0.75\% L_{\text{pp}} \\
 &= 0.405 \quad \text{m} \\
 h' &= (T - E) + h_{\text{gell}} \\
 &= (2.57 - 0.991) + 0.405 \\
 &= 1.98 \quad \text{m} \\
 T \text{ (sarat)} &= 2.57 \quad \text{m} \\
 L_{\text{pp}} &= 54.00 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan awal :**

$$\begin{aligned} h &= 0.55 D \\ &= 0.55 \times 0.02 \\ &= 0.011 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_D &= \frac{A_E}{A_O} 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 1.992 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_P}{A_D} &= 1.067 - 0.229 P/D \\ &= 1.067 - (0.229 \times 1.389) \\ &= 0.749 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_P &= \frac{A_P}{A_D} \cdot A_D \\ &= 0.749 \times 1.992 \\ &= 1.492 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_R &= \sqrt{(Va)^2 + 0.7n\pi D^2} \\ &= \sqrt{13.77^2 + (0.7 \times 9.17 \times 3.14 \times 1.75)} \\ &= 37.853 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{c'} &= \frac{T / A_P}{(0.5) \rho V_R^2} \\ &= (160.00 / 1.49) / (0.5 \times 3.14 \times (37.85)^2) \\ &= 1.46 \text{E-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{0.7R} &= \frac{188.2 + 19.62 h'}{V_A^2 + 4.836 n^2 D^2} \\ &= (188.2 + (19.62 \times 1.98)) / ((13.77)^2 + 4.836 \times (9.17)^2 \times (1.75)^2) \\ &= 0.158 \end{aligned}$$

Tabel. 4.16 Burrill Diagram

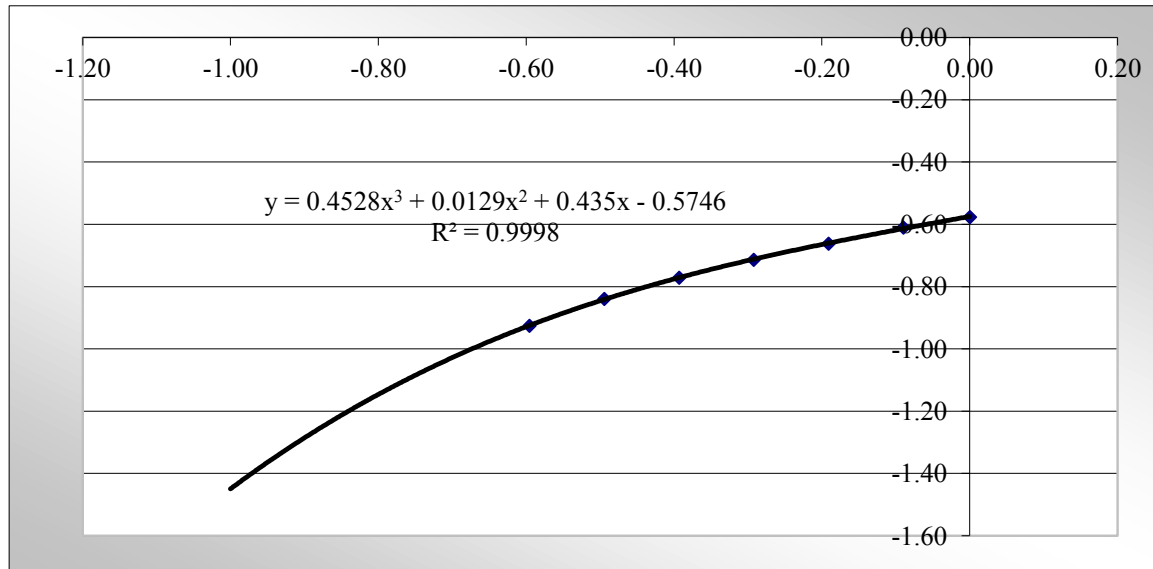
no.	$\sigma$ (mm)	$\tau$ (5%)	$\sigma / l \sigma$	$\tau / l \tau$	$10^\sigma$	$\log(10^\sigma)$	$10^\tau$	$\log(10^\tau)$
0	0		0.000		0.100	-1.000		
1	9		0.101		0.126	-0.899		
2	18		0.202		0.159	-0.798		
3	27		0.303		0.201	-0.697		
4	36	6.50	0.404	0.074	0.254	-0.596	0.119	-0.926
5	45	14.00	0.506	0.160	0.320	-0.494	0.145	-0.840
6	54	20.00	0.607	0.229	0.404	-0.393	0.169	-0.771
7	63	25.00	0.708	0.286	0.510	-0.292	0.193	-0.714
8	72	29.50	0.809	0.338	0.644	-0.191	0.218	-0.662
9	81	34.00	0.910	0.390	0.813	-0.090	0.245	-0.610
10	89	37.00	1.000	0.424	1.000	0.000	0.265	-0.576

Hasil pembacaan diagram burrill pada cavitation number 5% adalah :

$$l\sigma = 89 \text{ mm}$$

$$l\tau = 87.273 \text{ mm}$$

Berdasarkan tabel di atas, kemudian dibuat grafik dengan absis adalah  $\log(10^s)$  dan ordinat adalah  $\log(10^t)$ . Dari grafik tersebut didapatkan hasil persamaan regresi.



Gambar4.22. Gambar Burill diagram Pada Cavitation Number 5%

Berdasarkan grafik regresi tersebut, didapatkan persamaan yang digunakan mengecek besarnya cavitation number propeler terhadap cavitation number 5% diagram Burrill, yaitu :

$$y = 0,4528x^3 + 0,0129x^2 + 0,435x - 0,5746$$

dimana :

y :  $\sigma$  (dari perhitungan)

x :  $\log \sigma_{0,7R}$  (dari perhitungan)

Sehingga, dapat dihitung :

$$x = \log (\sigma_{0,7R})$$

$$= \log(0.158)$$

$$= -0.800$$

$$y = 0,4528x^3 + 0,0129x^2 + 0,435x - 0,5746$$

$$= 0,4528 (-0.800^3) + 0,0129 (-0.800)^2 + 0,435 (-0.800) - 0.5746$$

$$= -1.147$$

$$\begin{aligned}
 t_c &= 10^y \\
 &= 10^{(-1.147)} \\
 &= \underline{0.071}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya,  $t_c' \times 1000$

$$\begin{aligned}
 t_c' &= 1.46E-4 \times 1000 \\
 &= \underline{0.146}
 \end{aligned}$$

Persyaratan terjadi kavitasi atau tidak terjadi kavitasi pada propeler adalah :

$\tau_c > \tau_c' =$  tidak terjadi kavitasi

$\tau_c < \tau_c' =$  terjadi kavitasi

Dari hasil perhitungan di atas, tampak bahwa :  $\tau_c < \tau_c'$  , maka dapat dinyatakan bahwa propeller Symmetrical blade jika di operasikan pada kecepatan operasional kapal terjadi kavitasi. Hal ini memang terlepas bahwa fungsi propeller ini bertujuan untuk menghasilkan daya dorong yang cukup besar untuk kecepatan kapal pada 28 knot. Sehingga aspek kavitasi memang belum terlalu di perhatikan. Berbeda dengan tipe propeller High Skew yang bertujuan untuk mereduksi noise yang di timbulkan akibat terjadinya kavitasi propeller.

### **Pengertian Umum**

$A_E / A_0$	: expanded area ratio
$n$ (rpm)	: putaran propeller per menit
$n$ (rps)	: putaran propeller per detik
$D$	: diameter propeller (0.65 T)
$P/D$	: pitch ratio
$Z$	: jumlah daun propeler
$T$	: thrust (gaya dorong)
$g$	: percepatan gravitasi
$V_a$	: Speed of Advance
$A_D$	: developed area
$A_P$	: projected area
$V_R$	: relative velocity of water at 0.7 radius
$\tau_{c'}$	: mean thrust loading on blade
$\sigma_{0.7R}$	: local cavitation number at 0.7 radius
$h$	: head of water at screw center line
$E$	: tinggi sumbu poros propeller dari base line
$h_{gell}$	: tinggi gelombang $\approx 0.75\%$ Lpp
$A_p'$	: projected area untuk peta kavitasi burrill
$\tau_c$	: thrust loading on blade cavitation number 5%

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil satu kesimpulan yang mendukung hipotesa awal bahwa “Dengan menggunakan teori lifting line untuk propeller kapal Patroli 60 meter, di harapkan desain propeller mampu mendorong kapal patroli 60m pada kecepatan yang telah di tetapkan berdasarkan efisiensi yang baik”. Namun dalam hal ini kecepatan operasional yang dapat di penuhi oleh gaya dorong propeller tersebut pada kondisi halfload untuk kondisi full load belum bisa sampai kecepatan 28 knot.

Sehingga dari permasalahan yang ada, bahwa perancangan propeller symmetrical blade ini mampu menjawab sebuah keraguan tentang desain propeller untuk kapal-kapal cepat. Dimana kapal cepat rata –rata mempunyai nilai Freud Number di atas 0.4. sedangkan hasil perhitungan desain propeller dengan menggunakan MaTLAB, dapat di buat model propeller dengan mesin CNC 5 axis dan di lakukan pengujian open water di kolam Towink Tank BTH. Namun setelah dilakukan pengujian dan di analisa di hasilkan, penurunan nilai efisiensi pada J (advance coeificience) propeller 0.9 yaitu sebesar 0.141. dimana pada nilai J tersebut merupakan koefisien kerja propeller, sehingga dapat di gunakan sebagai masukan bahwa untuk mendesain propeller untuk kapal patroli selanjutnya. Effisinsni dari perhitungan numerik pada koefisien kerja propeller dapat dikurangi sebesar 0.14.

Sehingga dari perbedaan karakteristik desain propeller dari hasil perhitungan dan hasil uji model terdapat penurunan nilai efisiensi propeller. Jika hasil uji model propeller di hitung dengan engine propeller matching maka di hasilkan,

1. Dengan menggunakan sarat kapal Full load (2.57m), hanya mampu mendorong kapal pada kecepatan antara 27 knot lebih dan tidak sampai 28 knot dengan perencanaan mesin yang akan di install sebesar 2 x3900 kW
2. Sedangkan dengan sarat half load (2.4m), dengan perencanaan mesin 2 x 3900 kw propeller mampu mendorong sampai 30 knot. Namun perlu di ingat bahwa, pada perhitungan kedua sarat tersebut masih menggunakan perhitungan dengan 0% sea

margin. Karena dalam studi kasus ini mesin yang di sediakan oleh pihak galangan terlalu mepet.

3. Berdasarkan dari analisa kavitasi yang di hitung dengan numerik, maka dapat di simpulkan propeller ini mengalami kavitasi pada putaran kerja propeller.

## **5.2. Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penulis merasakan masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki dan penelitian – penelitian yang perlu dilakukan selanjutnya. Untuk itu beberapa saran yang ingin dikemukakan untuk penelitian selanjutnya antara lain :

- ❖ Hasil diagram KT, KQ, J dari hasil uji model propeller dapat di gunakan sebagai acuan dasar desain propeller untuk tipe kapal patroli yang lain
- ❖ Hasil ini open water ini juga dapat di gunakan pada kapal yang lain, asalkan mempunyai kemiripan ukuran kapal
- ❖ Selain perhitungan numerik, alangkah baiknya jika di lakukan pendekatan dengan perhitungan CFD
- ❖ Untuk analisa kavitasi propeller dapat dilakukan uji model di Cavitation Tunnel.

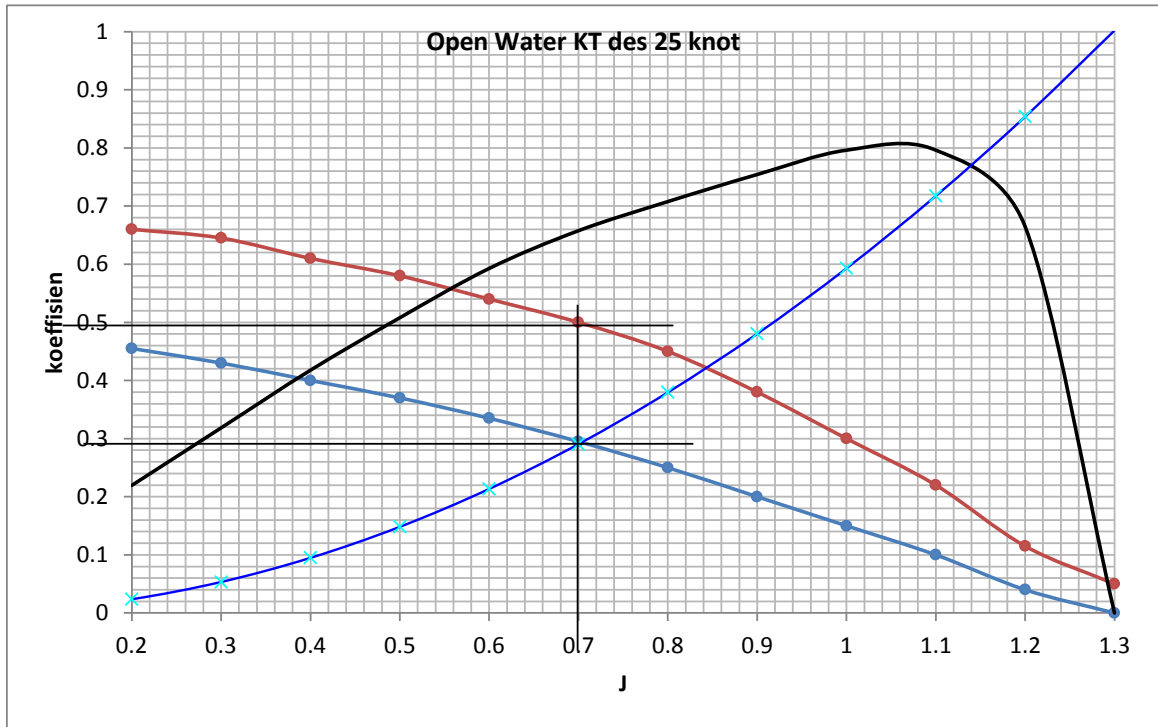


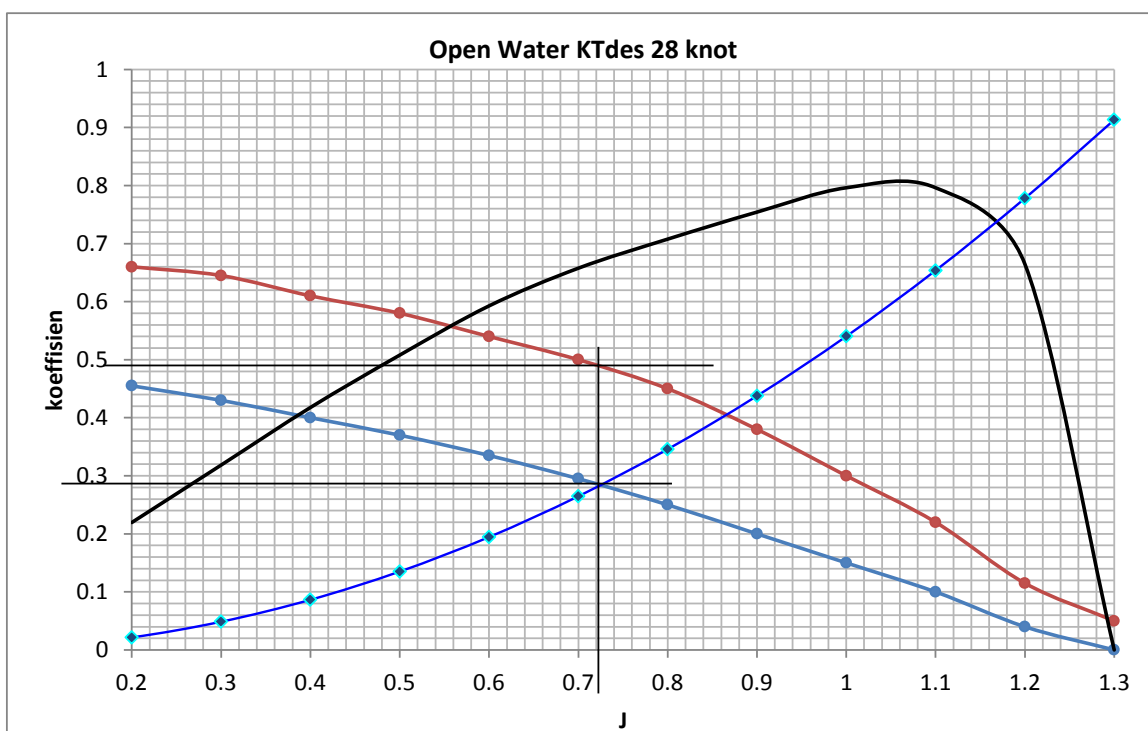
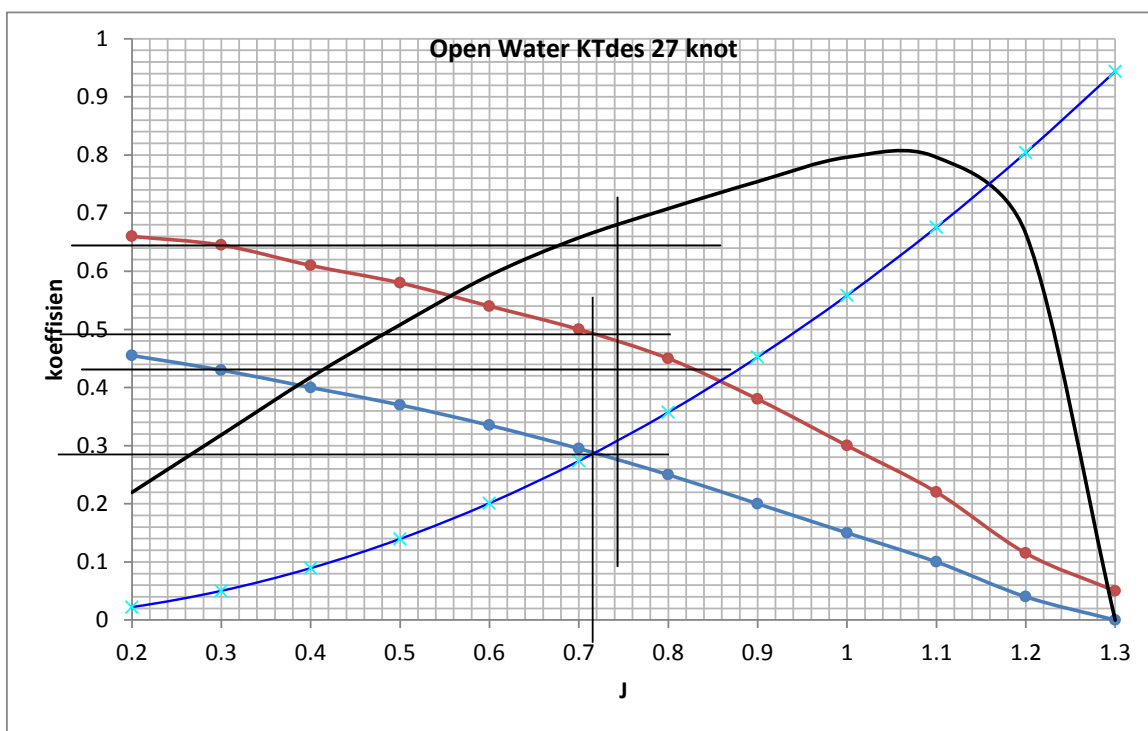
## DAFTAR PUSTAKA

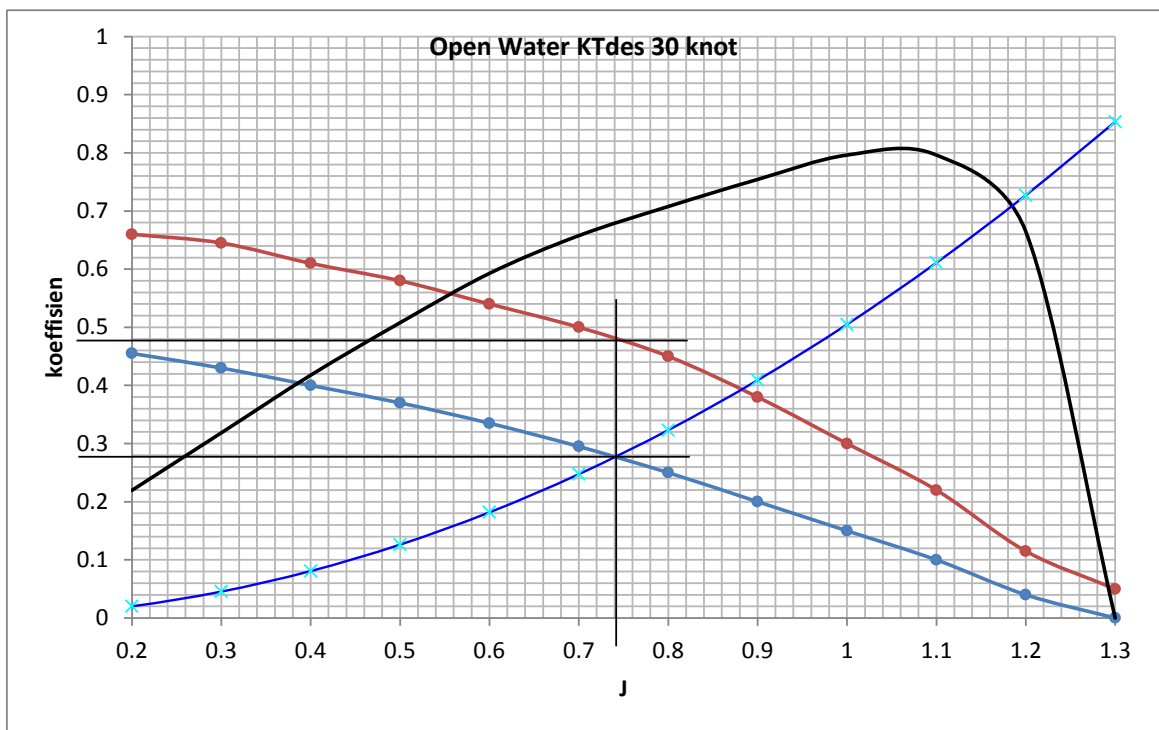
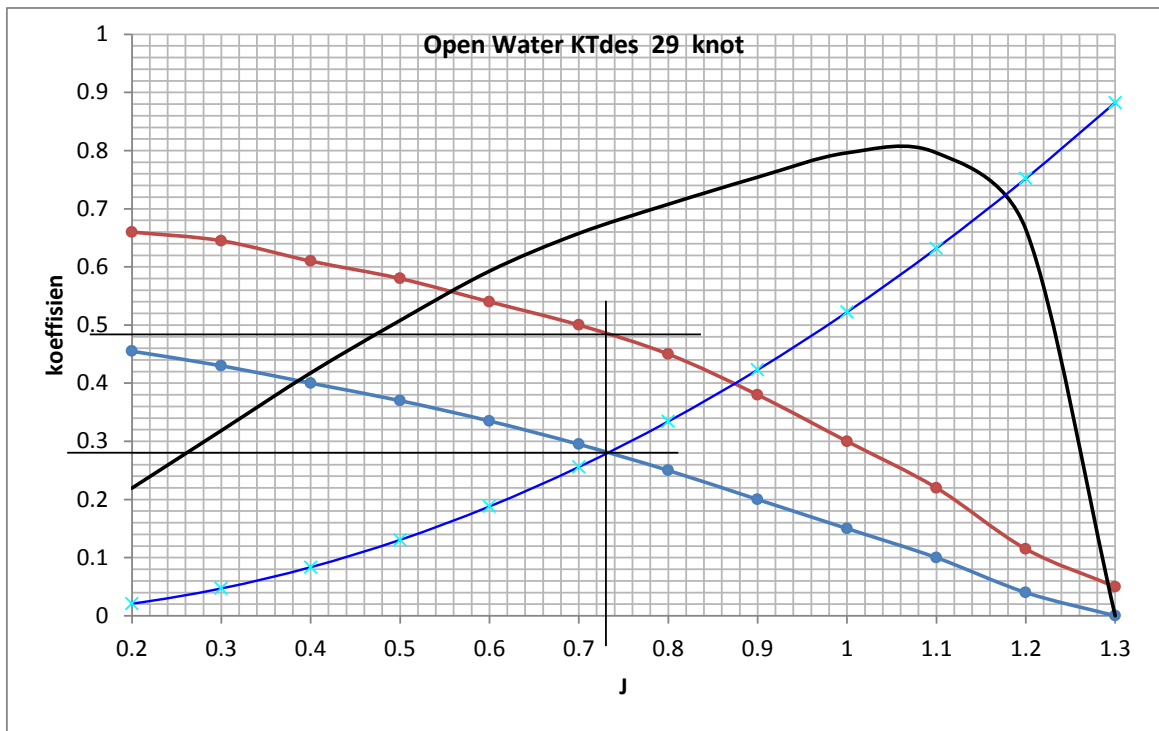
- [1] J. Carlton, (2007), Marine Propellers and Propulsion, 2nd ed. Oxford, UK (Butterworth- Heinemann)
- [2] Brenden Epps, (2010) OpenProp v2.4 Theory Document
- [3] G. Kuiper, (1992), The Wageningen Propeller Series, MARIN Publication 92- 001
- [4] Lerbs, H. W. 1952. Moderately Loaded Propellers with a Finite Number of Blades and an Arbitrary Distribution of Circulation. The Society of Naval Architects and Marine Engineers
- [5] Edward V. Lewis, Editor (1988), Principles of Naval Architecture Second Revision, Published by The Society of Naval Architecture and Marine Engineers. 601 Pavonia Avenue, Jersey City
- [6] Froude, R. E. 1989. On the Part Played in Propulsion by Differences of Fluid Pressure. Transactions of the Institution of Naval Architects.
- [7] Burrill, L. C. 1959. A Short Note on Stressing of Marine Propellers. The Ship Builder and Marine Engine Builder
- [8] Edy Haryanto Agoes Santoso & Irfan Syarif Arief (2013), Optimalisasi Design Triple Screw Propeller Kapal Patroli Cepat 40m Dengan Pendekatan CFD. Inovtek, Volume 3, Nomor 1, Juni 2013, hlm. 11 – 17
- [9] Breno Inglis Favacho (2013), Contribution to the marine propeller hydrodynamic design for small boats in the Amazon region. Acta Amazonica, VOL. 46(1) 2016
- [10] Alfian Dicky Firmansyah, Agoes Santoso, dan Edy Djatmiko, (2012). Perancangan Controllable Pitch Propeller pada Kapal Offshore Patroli Vessel 80 (OPV80). JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) ISSN: 2301 -9271
- [11] Mario Componeto, (1997). A New Propeller Design Method For Fast Planing Boat Application. FAST 97 Paper.
- [12] R.A. Cumming, Wm.B. Morgan, R.J. Boswel, (1972). Highly Skewed Propellers .
- [13] Edward V. Lewis. (1988) Principles of Naval Architecture Second Revision. Volume II. Resistance, Propulsion and Vibration. The Society of Naval Architects and Marine Engineers 601 Pavonia Avenue Jersey City, NJ

## BAB 6 LAMPIRAN-LAMPIRAN

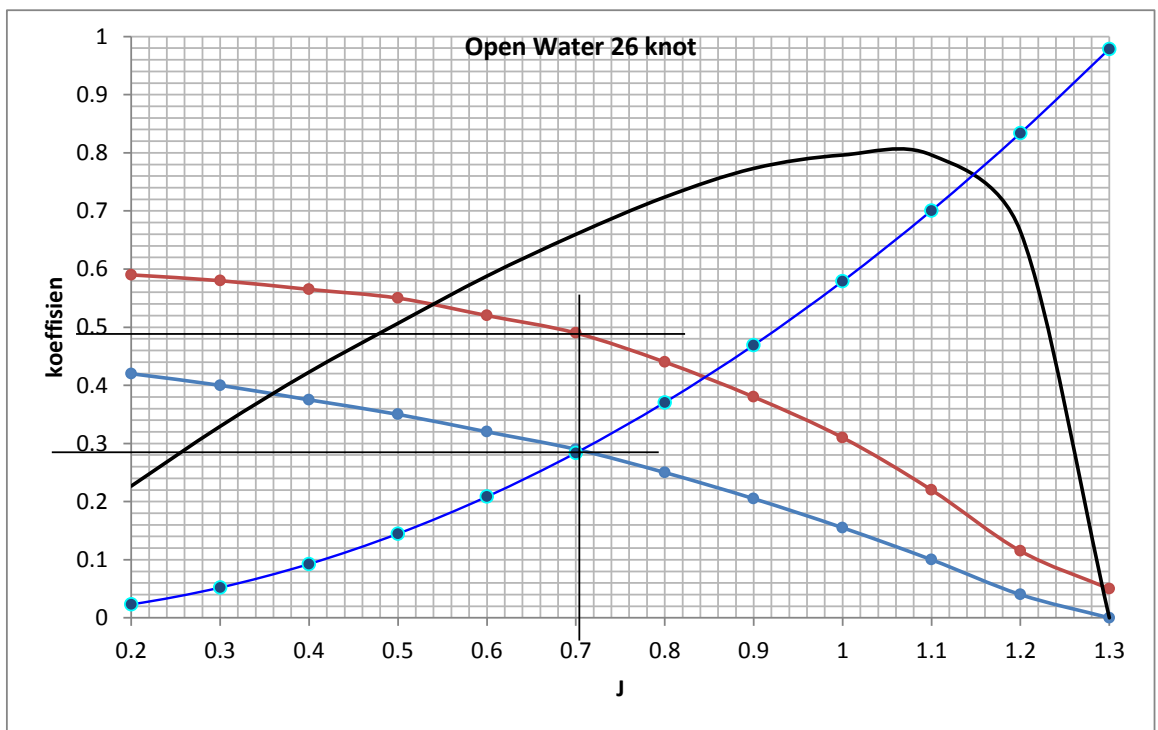
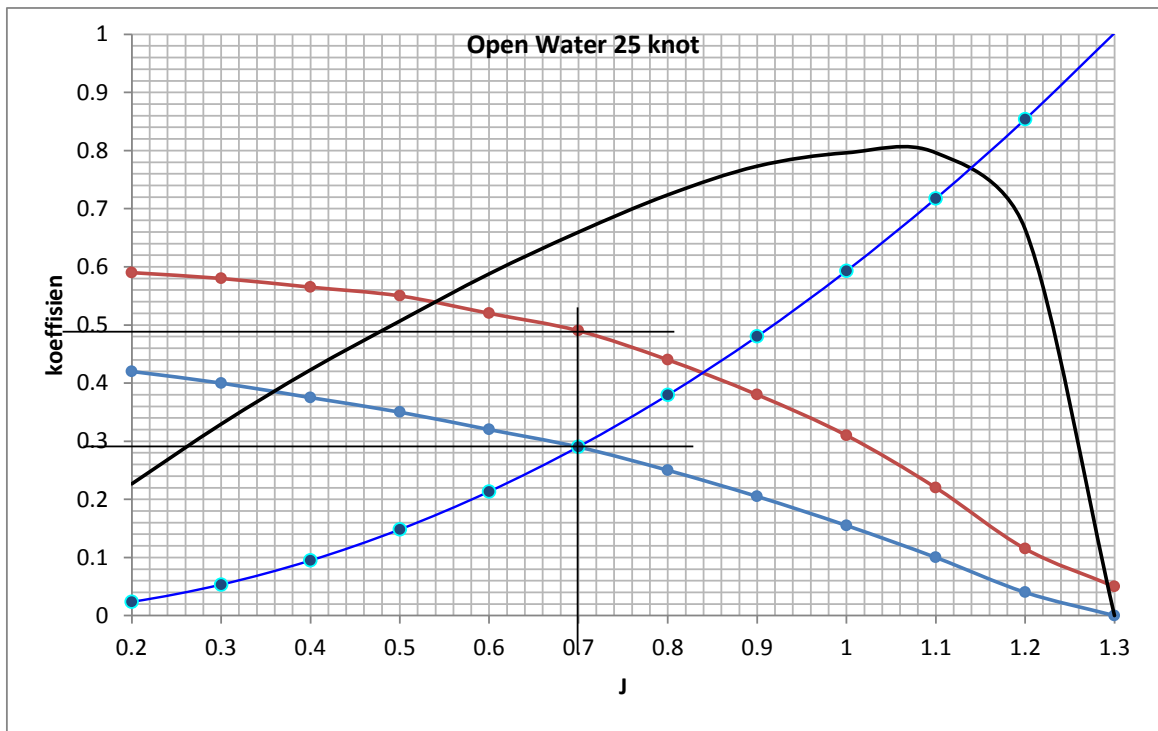
**Diagram KT desain pada setiap kecepatan Variasi propeller symmetrical 5 balde**

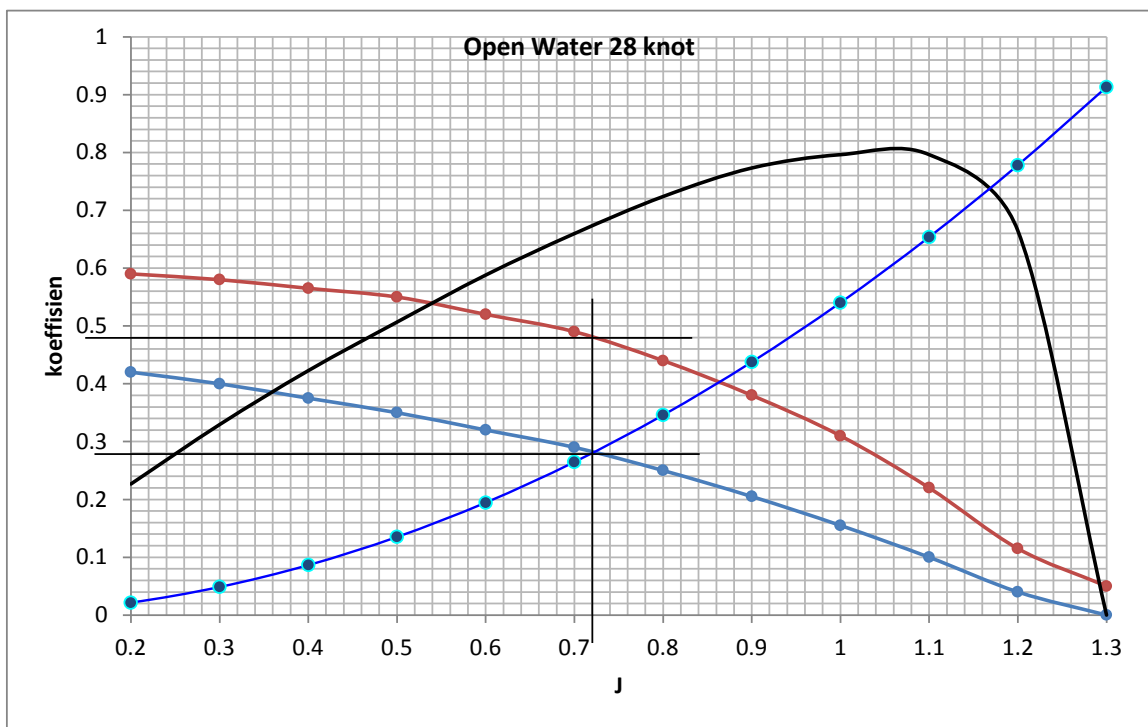
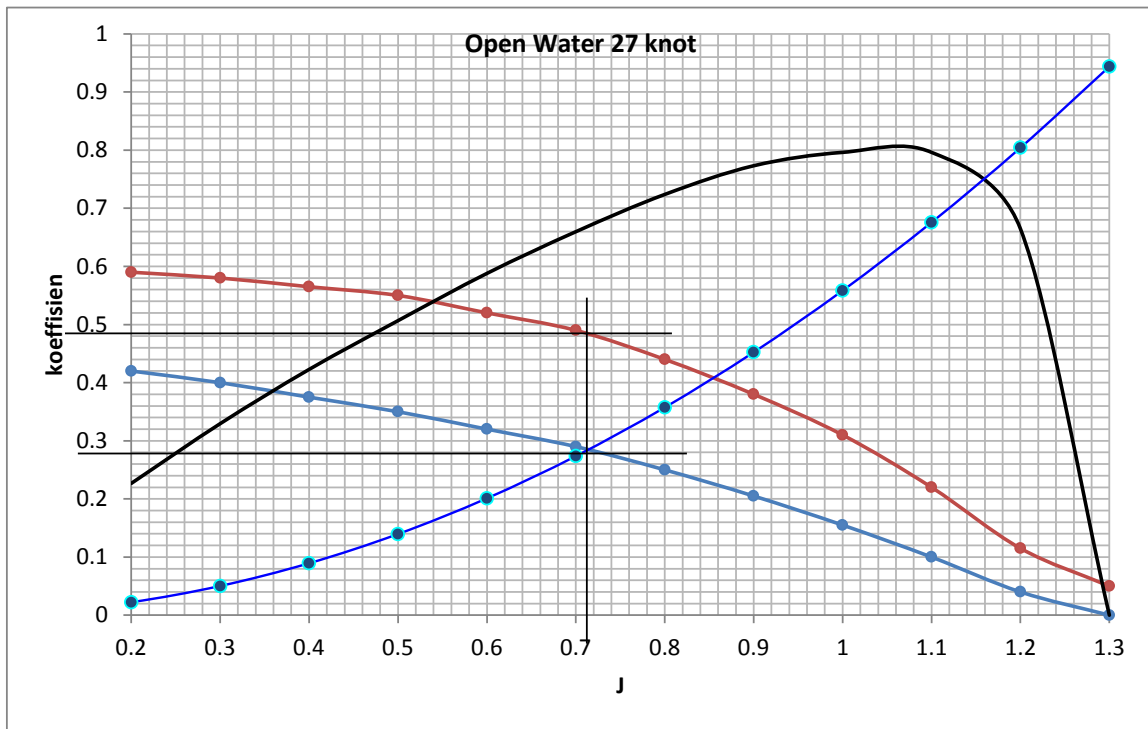


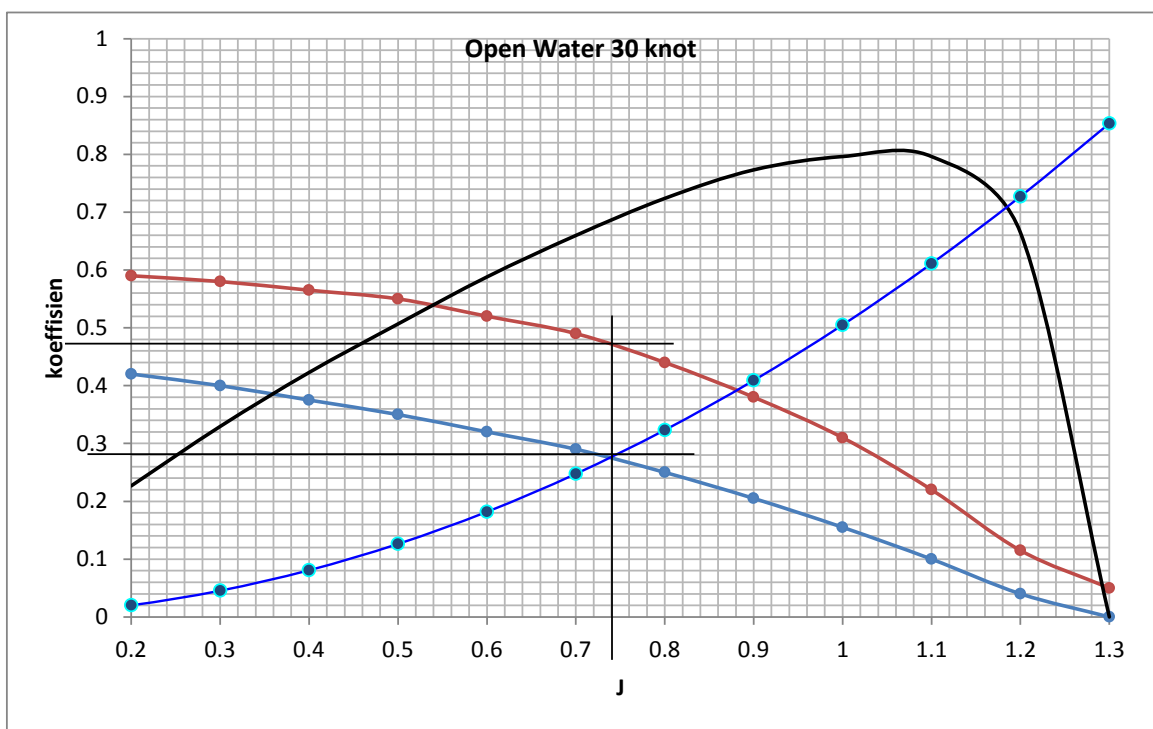
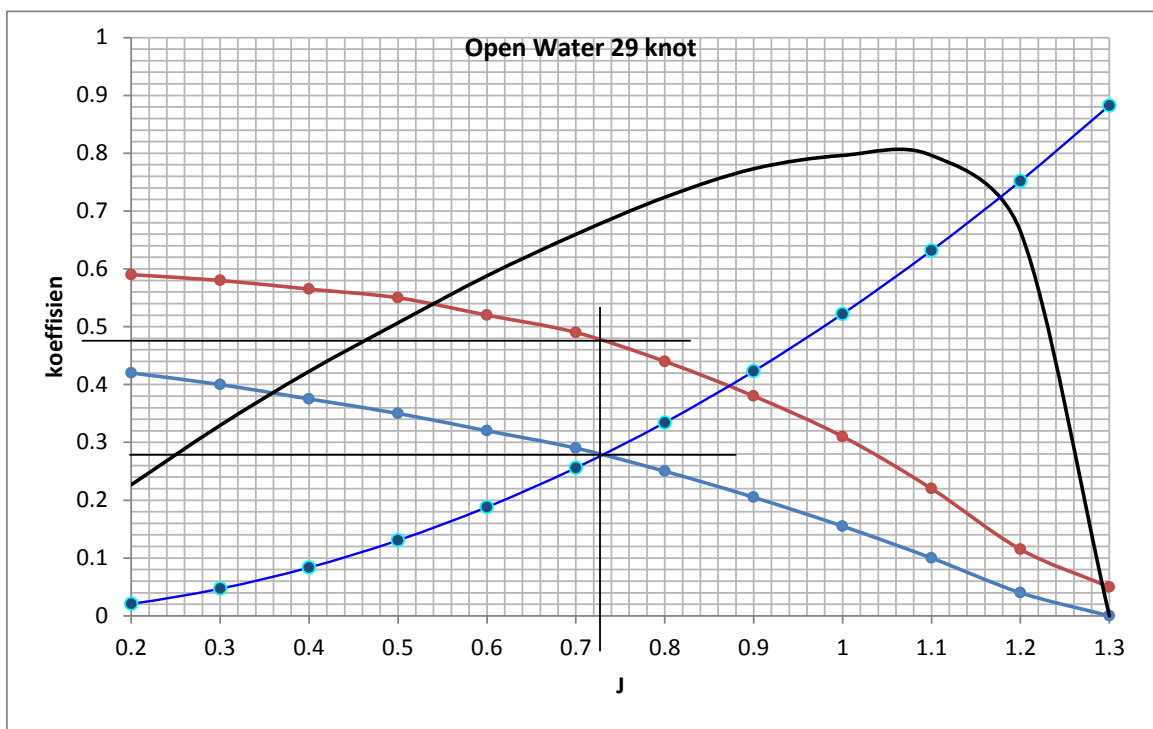




**Diagram KT desain pada setiap kecepatan Variasi propeller symmetrical 4 balde**







## Untuk pemilihan B-series kapal patroli 60m di gunakan program DESP

MARIN program DESPPC 1999\_0 Performance Prediction of Displacement Ships

Date: 2016/06/01

Time: 15:22:13

Page 2

\*\*\*\*\*

\* KCRSARAT2.57

\*

\*\*\*\*\*

### Propeller design conditions

-----

Design speed 28.00 [knots]

Min. prop. diameter 1.725 [m]

Max. prop. diameter 1.750 [m]

Revolutions 680.0 [1/Min]

Addition to AEA0 0.000 [-]

### Main propeller data

Number of props 2 [-] Diameter 1.750 [m]

Number of blades 4 [-] AEA0 1.064 [-]

Clearance prop. tip -0.67 [m] PDRA 0.939 [-]

Propeller roughness 0.000030 [m]

Propeller type : B-series propeller

### General data

CA-Calculated 0.000628 [-] Bare hull formfactor 1.2224 [-]

Addition to CA 0.000000 [-] Specific mass water 1025.0 [kg/m3]

Hull roughness 0.000150 [m] Temperature water 30.0 [Degr C]

Addition to wake 0.000 [-] Addition to thrust ded. 0.000 [-]



MARIN program DESPPC 1999\_0 Performance Prediction of Displacement Ships

Date: 2016/06/01

Time: 15:22:13

Page 3

\*\*\*\*\*

\* KCRSARAT2.57

\*

\*\*\*\*\*

VS	R-FRIC	R-WAV	R-BULB	R-TRANS	R-APP	R-ALL	R-TOT
[knots]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]

20.00	39.6	64.2	0.0	23.8	5.6	16.2	158.2
20.50	41.5	71.8	0.0	23.7	5.9	17.0	169.1
21.00	43.4	79.5	0.0	23.5	6.1	17.8	180.0
21.50	45.4	87.1	0.0	23.2	6.4	18.7	190.9
22.00	47.4	94.8	0.0	22.8	6.7	19.6	201.8
22.50	49.4	102.4	0.0	22.3	7.0	20.5	212.6
23.00	51.5	110.1	0.0	21.7	7.3	21.4	223.4
23.50	53.6	117.8	0.0	21.0	7.6	22.3	234.2
24.00	55.8	125.4	0.0	20.1	7.9	23.3	244.9
24.50	58.0	133.0	0.0	19.2	8.2	24.3	255.5
25.00	60.2	139.8	0.0	18.0	8.5	25.3	265.3
25.50	62.5	145.0	0.0	16.8	8.8	26.3	273.3
26.00	64.8	149.2	0.0	15.4	9.2	27.3	280.2
26.50	67.2	152.8	0.0	13.8	9.5	28.4	286.6
27.00	69.5	155.9	0.0	12.1	9.8	29.5	292.4
27.50	72.0	158.6	0.0	10.3	10.2	30.6	297.6



26.50	286.6	303.6	0.044	0.056	0.988	1.000	0.595	0.588
27.00	292.4	309.7	0.044	0.056	0.988	1.000	0.594	0.587
27.50	297.6	315.2	0.044	0.056	0.988	1.000	0.593	0.586
28.00	302.3	320.2	0.044	0.056	0.988	1.000	0.593	0.585
28.50	306.6	324.7	0.044	0.056	0.988	1.000	0.592	0.584
29.00	310.6	329.0	0.044	0.056	0.988	1.000	0.591	0.584
29.50	314.9	333.5	0.044	0.056	0.988	1.000	0.590	0.583
30.00	319.2	338.1	0.044	0.056	0.988	1.000	0.589	0.581

MARIN program DESPPC 1999\_0    Performance Prediction of Displacement Ships

Date: 2016/06/01

Time: 15:22:13

Page 5

\*\*\*\*\*

\* KCRSARAT2.57

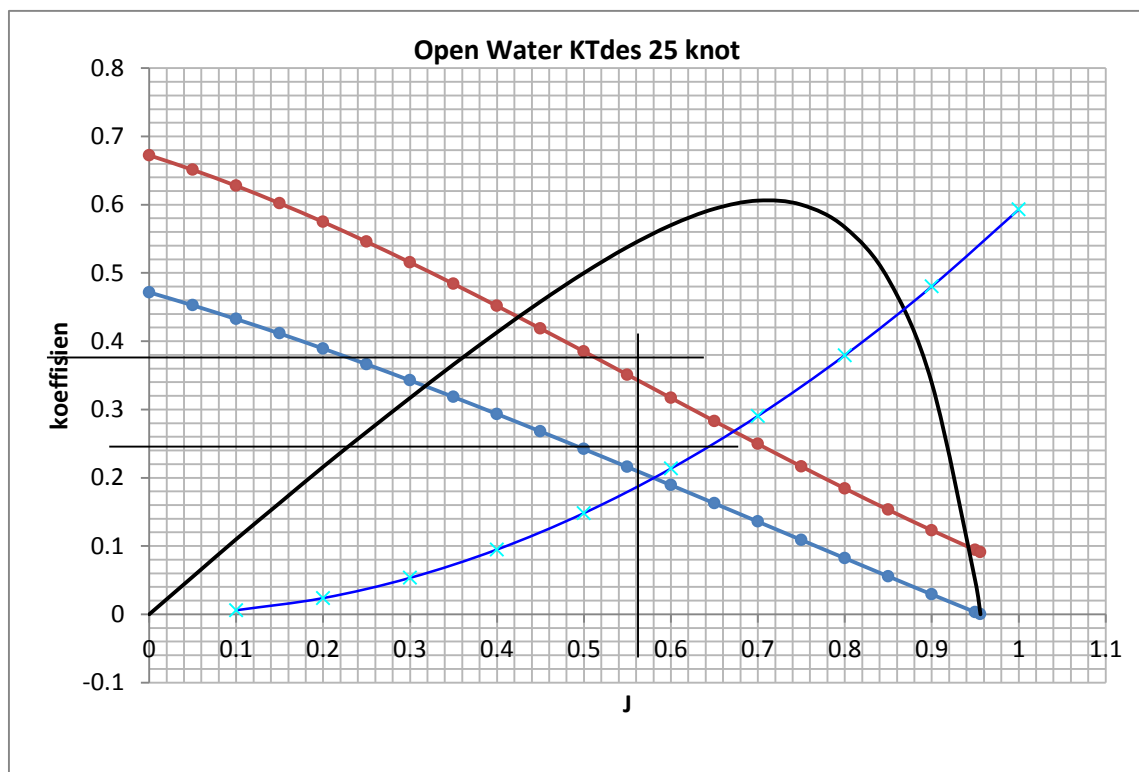
\*

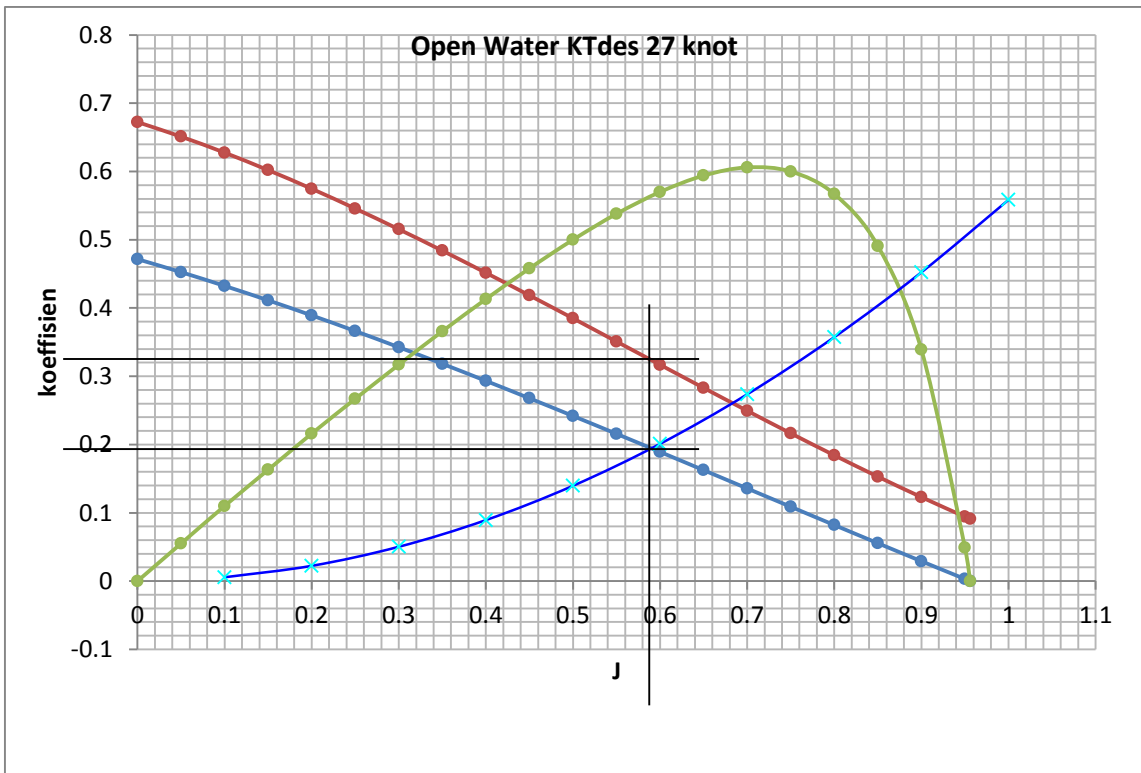
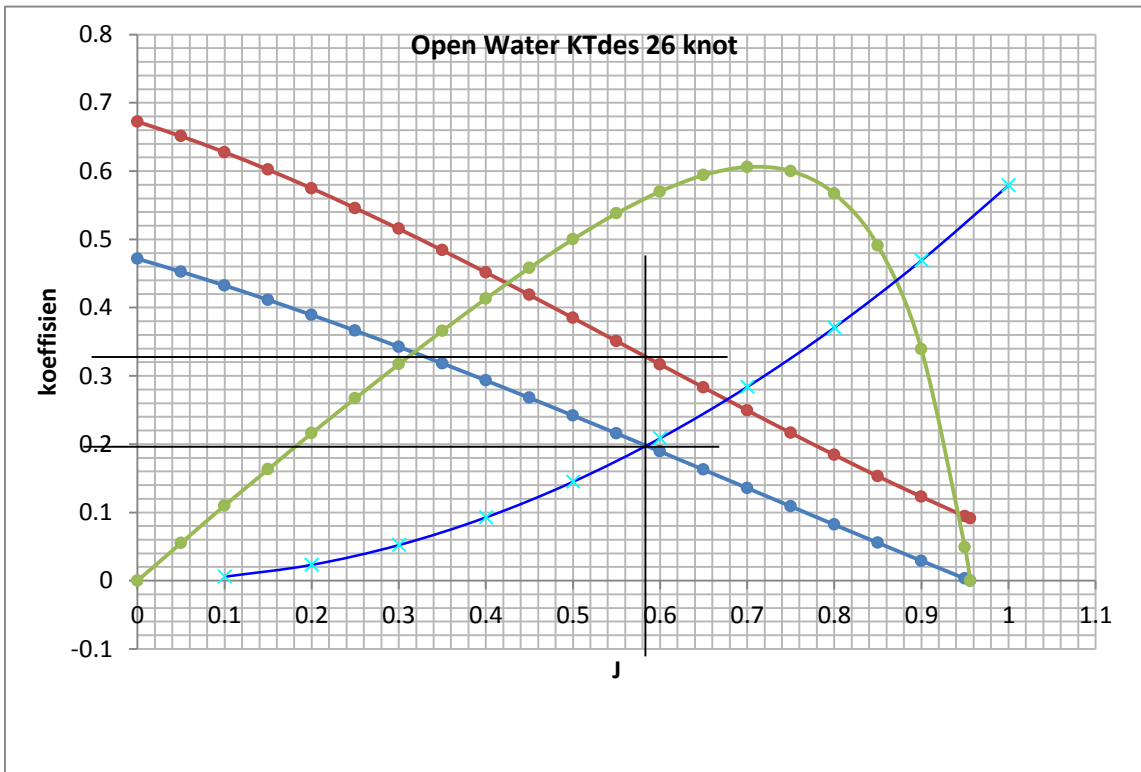
\*\*\*\*\*

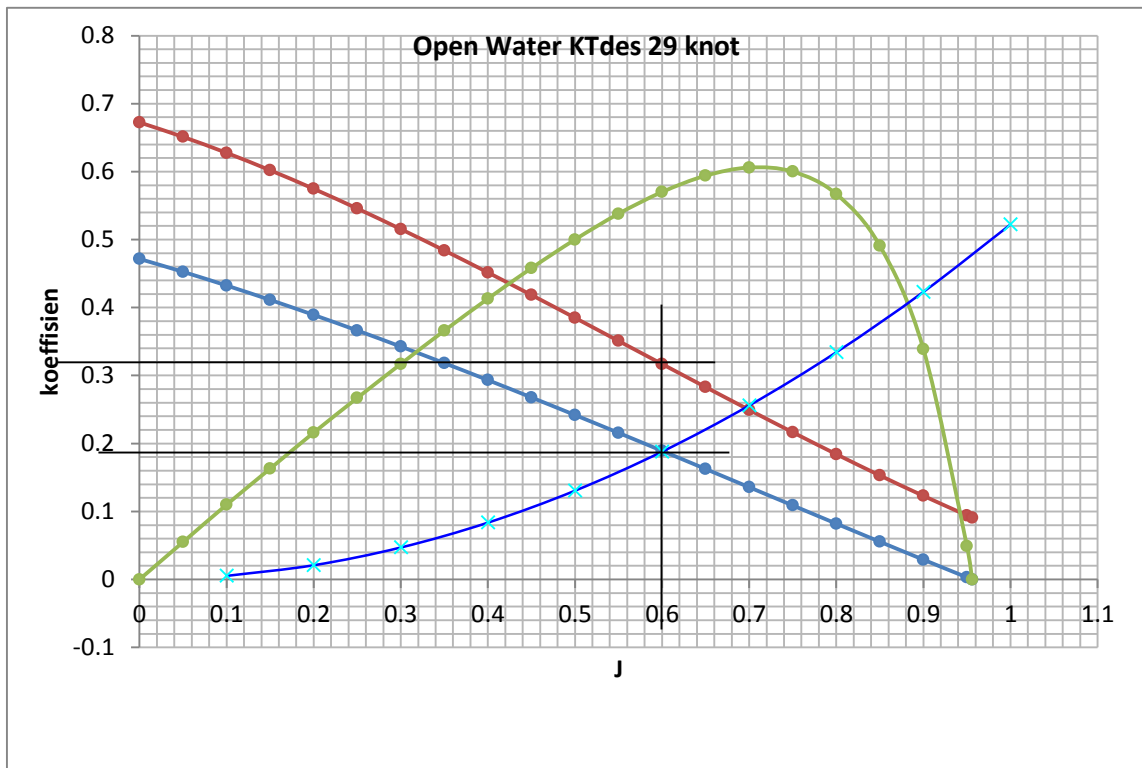
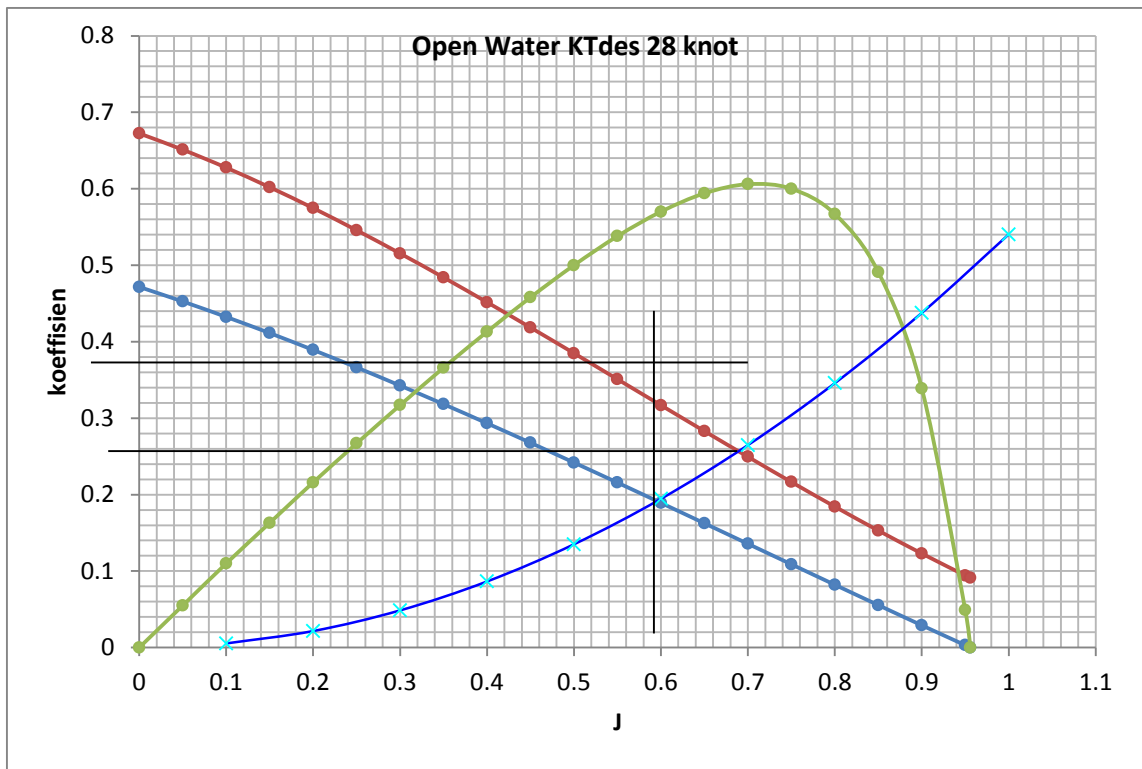
	VS	THRUST	ETA-D	CAVP	CAVN	N	PE	PS
	[knots]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[1/Min]	[kW]	[kW]
20.00	167.5	0.593	1.000	1.000	480.5	1627	2772	
20.50	179.1	0.593	1.000	1.000	494.3	1783	3039	
21.00	190.7	0.592	1.000	1.000	508.0	1945	3316	
21.50	202.2	0.592	1.000	1.000	521.4	2112	3602	
22.00	213.7	0.592	1.000	1.000	534.6	2284	3897	
22.50	225.2	0.592	1.000	1.000	547.6	2461	4201	
23.00	236.6	0.592	1.000	1.000	560.5	2644	4514	
23.50	248.0	0.591	1.000	1.000	573.0	2832	4836	
24.00	259.3	0.591	1.000	1.000	585.7	3023	5163	
24.50	270.6	0.591	1.000	1.001	598.9	3220	5499	

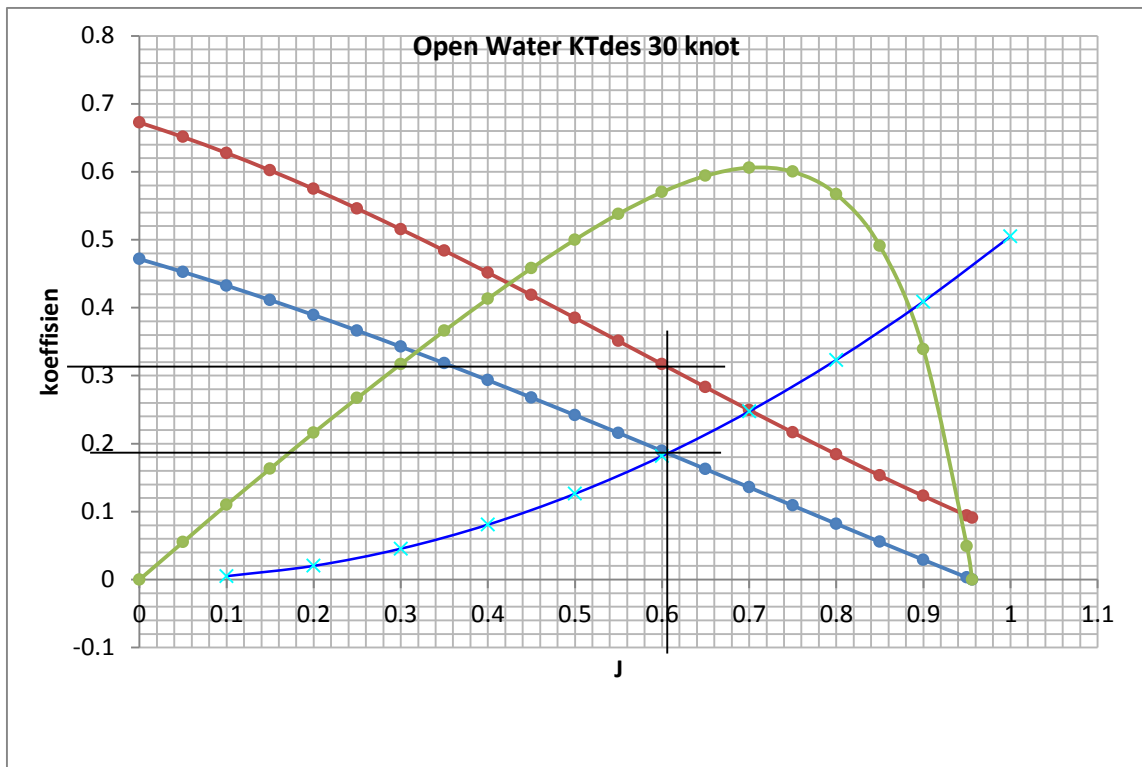
25.00	280.9	0.591	1.000	1.003	612.0	3412	5828
25.50	289.4	0.590	1.002	1.006	624.2	3585	6134
26.00	296.8	0.589	1.005	1.008	636.0	3748	6427
26.50	303.6	0.588	1.007	1.010	647.4	3908	6712
27.00	309.7	0.587	1.009	1.012	658.4	4061	6988
27.50	315.2	0.586	1.011	1.014	669.1	4210	7255
28.00	320.2	0.585	1.013	1.015	679.4	4355	7516
28.50	324.7	0.584	1.015	1.017	689.5	4495	7768
29.00	329.0	0.584	1.017	1.018	699.5	4634	8022
29.50	333.5	0.583	1.019	1.020	709.7	4779	8287
30.00	338.1	0.581	1.021	1.021	719.9	4927	8560

**Diagram KT desain pada setiap kecepatan Variasi propeller B-series**









### Foto Pengujian



**J= 0.1**



**J= 0.2**



**J=0.3**



**J=0.4**



**J=0.5**



**J=0.6**



**J=0.7**



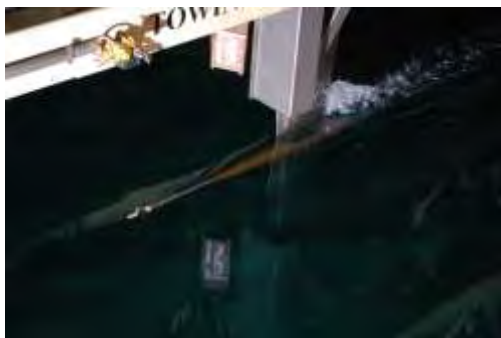
**J=0.8**



**J=0.9**



**J=1.0**



**J=1.1**



**J=1.2**